

PROJETO DE GRADUAÇÃO

MATURIDADE EM INDÚSTRIA 4.0: CASO

SAFRAN HELICOPTER ENGINES BRASIL

Fábio Pinheiro de Carvalho Haltenburg

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia de Produção

Brasília

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

HALTENBURG, F.P.C., (2019). Maturidade em Indústria 4.0: Caso Safran Helicopter Engines Brasil. Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 110p

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Fabio Pinheiro de Carvalho Haltenburg

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO: Maturidade em Indústria 4.0: Caso Safran Helicopter Engines Brasil

GRAU: Engenheiro

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Trabalho de Graduação pode ser reproduzida nem modificada sem autorização por escrito do autor.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**MATURIDADE EM INDÚSTRIA 4.0: CASO
SAFRAN HELICOPTER ENGINES BRASIL**

POR,

Fábio Pinheiro de Carvalho Haltenburg

Relatório Submetido como requisito parcial para a obtenção
do grau de Engenheiro de Produção

Banca Examinadora:

Profa. Andréa Cristina dos Santos, UnB/ EPR (Orientadora)

Profa. Viviane Vasconcellos Ferreira Grubisci, UnB/ EPR

Prof. Jones Yudi Mori da Silva, UnB/ ENM

Eng. Cristiane Monteiro SAFRAN- HEB

Brasília, 28 de junho de 2019

Dedicatória

*Aos meus pais, Fernando e Rejane, que me deram todo o apoio
para poder me dedicar à Engenharia.*

*À toda a minha família, que confiou na minha capacidade
e me deram força terminar minha jornada.*

AGRADECIMENTO

Durante minha vida acadêmica e profissional tive o prazer de conhecer muitos colegas com quem construí boas amizades. Para fazer justiça à participação de cada um, agradeço a todos. Cada troca de ideias foi fundamental para construir o meu caráter profissional e pessoal.

Agradeço sinceramente a Deus, por me abençoar, guardar e cuidar.

Agradeço a minha família que me apoiou incondicionalmente nas minhas decisões e necessidades, especialmente quando eram relacionadas à minha graduação. Me deram muito amor, carinho e compreensão durante a minha jornada para me tornar engenheiro. Em especial ao meu tio Eduardo que me orientou e auxiliou na escolha do meu curso de engenharia.

Agradeço à minha orientadora que me indicou para uma experiência inigualável e que me auxiliou com todos os subsídios possíveis no planejamento e desenvolvimento do meu projeto final.

Agradeço aos colaboradores da Safran Helicopter Engines Brasil, que me acolheram calorosamente e me apoiaram em todas as minhas atividades na empresa. Em especial à minha supervisora, Cristiane Monteiro, que foi o meu ponto firme e que me ajudou a construir um trabalho elogiado pela equipe da empresa.

À minha namorada, Mariana Figueiredo, que me deu todo o suporte possível e que consentiu um relacionamento à distância por cinco meses.

Um agradecimento especial à minhas colegas de curso e futuras colegas de profissão, Rafaela Dantas, Gabriela Lino, Deborah Segalovich e Ana Bárbara Plá por todas as disciplinas pelas quais passamos juntos e que pudemos obter êxito.

Agradeço, por fim, aos envolvidos na criação do curso de Engenharia de Produção na Universidade de Brasília.

Vocês criaram um curso que consegue se diferenciar de qualquer um no Brasil.

Muito Obrigado!

Fábio Pinheiro de Carvalho Haltenburg

RESUMO

Este projeto tem como objetivo adaptar um modelo de maturidade para a Indústria 4.0 para o caso da Safran Helicopter Engines Brasil. A adaptação foi necessária pelo fato de o sítio ter o foco no MRO – *Maintenance, Repair and Overhaul* – aeronáutico. Para isso, foram estudados os conceitos relacionados mais importantes: os modelos de maturidade, as tecnologias habilitadoras e os princípios de implementação da Quarta Revolução Industrial. A partir da base teórica adquirida, foram escolhidos quatro modelos de maturidade em Indústria 4.0 para estudo detalhado. O caso foi analisado em detalhes e dois dos modelos foram aplicados, pois estavam prontos para serem colocados em prática. Após a aplicação, foi desenvolvido um comparativo entre os modelos selecionados para escolher qual deles seria a base para adaptação ao caso. Utilizando o método AHP – *Analytic Hierarchy Process* – foram estabelecidos cinco critérios e seus respectivos pesos para ser possível comparar as alternativas. O modelo que obteve o maior valor global foi eleito e modificado para melhor atender às especificidades do caso estudado. As mudanças abrangeram especialmente o questionário de avaliação de maturidade, a estrutura de níveis de maturidade e as dimensões e campos associados. O modelo adaptado foi então aplicado e os seus resultados serviram como base para o desenvolvimento de sugestões de melhoria para a empresa.

Palavras Chave: Modelo de avaliação de maturidade. Indústria 4.0. Adaptação. Estudo de caso. MRO aeronáutico

ABSTRACT

This project is intended to adapt a maturity model for Industry 4.0 for the case of Safran Helicopter Engines Brazil. The adaptation was required since the site is focused on aeronautical MRO – Maintenance, Repair and Overhaul. In this regard, the most important related concepts were studied: the maturity models, the enabling technologies and the principles of implementation for the Fourth Industrial Revolution. With the theoretical basis acquired, four maturity models were selected in Industry 4.0 for detailed study. The case was analyzed in detail and two of the models were applied, since they were ready to be put into practice. After the application, a comparison was made between the selected models to choose which one would be the basis for adaptation to the case. Using the AHP– Analytic Hierarchy Process – method, five criteria and their respective weights were established to be able to compare alternatives. The model that obtained the highest overall value was elected and modified to better meet the specificities of the case studied. The changes included especially the maturity assessment questionnaire, the structure of maturity levels and the associated dimensions and fields. The adapted model was then applied, and its results served as the basis for the development of suggestions for improvement for the company.

Key Words: Maturity assessment model. Industry 4.0. Adaptation. Case study. Aeronautic MRO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.1 Objetivos Específicos.....	14
1.2 Limitações de Pesquisa	14
1.3 Metodologia de Pesquisa	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Indústria 4.0	20
2.1.1 Origem e Desenvolvimento Das Revoluções Industriais	22
2.1.2 Tecnologias Habilitadoras.....	25
2.1.3 Princípios de Implementação da Indústria 4.0	31
2.2 Manufatura Inteligente.....	32
2.3 Modelo de Maturidade	35
3 ESTUDO DE CASO	50
3.1 Planejamento do Estudo de Caso	53
3.2 Aplicação dos Modelos de Maturidade.....	54
3.2.1 Resultado da Aplicação do Modelo 1	54
3.2.2 Resultado da Aplicação do Modelo 4	59
3.2.3 Análise Comparativa dos Modelos Existentes	63
3.3 Modelo Adaptado Proposto	66
3.4 Aplicação do Modelo Proposto	70
4 RESULTADOS	75
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
ANEXO A – QUESTIONÁRIO MODELO 1	81
ANEXO B – QUESTIONÁRIO MODELO 4	86
APENDICE A – MODELO ADAPTADO.....	96
APENDICE B – TABELA DE PONTOS DE MELHORIA	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo de atividades geral	15
Figura 2 – Condução do estudo de caso	17
Figura 3 – Estrutura de sistema cyber-físico para máquinas autoconscientes e com manutenção autônoma	20
Figura 4 – Evolução dos dados na manufatura.....	22
Figura 5 – Linha do tempo: Revolução Industrial	24
Figura 6 – Arquitetura 5C para CPS revisada	27
Figura 7 – Cadeia de valor e palavras chave da IoT.....	28
Figura 8 – Facilitadores de negócios da nuvem	30
Figura 9 – Manufatura Inteligente com IoT e IoS	33
Figura 10 – A estrutura da manufatura dirigida por dados.....	35
Figura 11 – Dimensões e Critérios Modelo IMPULS	38
Figura 12 – Níveis Modelo IMPULS	39
Figura 13 – Visualização da maturidade das nove dimensões	42
Figura 14 – Resultados detalhados da dimensão estratégia.....	42
Figura 15 – Processos Corporativos e Áreas Estruturais.....	43
Figura 16 – Modelo para avaliação das Áreas Estruturais	46
Figura 17 – Cadeia de valor motor de helicóptero	50
Figura 18 – Ciclo de vida economico de um programa de motor de uma aeronave	51
Figura 19 – Processo de MRO Safran HEB	52
Figura 20 – Interseção dos blocos para adaptação do modelo	54
Figura 21 – Comparação nível de maturidade geral (Modelo 4).....	55
Figura 22 – Comparação nível de maturidade Estratégia e Organização.....	56
Figura 23 – Comparação nível de maturidade Fábrica Inteligente.....	56
Figura 24 – Comparação nível de maturidade Operações Inteligentes	57
Figura 25 – Comparação nível de maturidade Produtos Inteligentes.....	58
Figura 26 – Comparação nível de maturidade Serviços Dirigidos por Dados	58
Figura 27 – Comparação nível de maturidade Empregados.....	59
Figura 28 – Resultado Geral Modelo 4	59
Figura 29 – Resultados da aplicação do Modelo Adaptado	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas da pesquisa	16
Quadro 2 – Setores da economia	19
Quadro 3 – Vantagens e Desvantagens do Modelo de Maturidade.....	36
Quadro 4 – Dimensões x Questões relacionadas.....	37
Quadro 5 – Exemplo de pergunta para questionário Schuh et al. (2017).....	45
Quadro 6 – Estrutura Modelo 4	47
Quadro 7 – Escala de julgamentos do AHP	64
Quadro 8 – Dimensões e campos associados do modelo 4 x modelo proposto	68
Quadro 9 – Exemplo de adaptação de perguntas.....	70
Quadro 10 – Pontos de melhoria com a maior pontuação em cada dimensão	74
Quadro 11 – Pontos positivos incorporados ao Modelo Adaptado	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites para classificação	49
Tabela 2 – Pontuação de maturidade de Produtos e Serviços Inteligentes.....	60
Tabela 3 – Pontuação de maturidade de Processos de Negócios Inteligentes.....	61
Tabela 4 – Pontuação de maturidade de Estratégia e Organização	62
Tabela 5 – Avaliação dos critérios para a importância relativa.....	65
Tabela 6 – Valor global comparação entre modelos de maturidade.....	65
Tabela 7 – Valor global comparação com o Modelo Adaptado	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D – Três Dimensões

5S – Cinco Sensores

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

AR – *Augmented Reality*

Arquitetura 5C – Arquitetura para Desenvolvimento de Sistemas Ciber-Físicos

CAD – *Computer Aided Design*

CKD – *Completely Knock-Down*

CLP – Controlador Lógico Programável

CPS – *Cyber-Physical System*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

IBM – International Business Machines

IoS – *Internet of Services*

IoT – *Internet of Things*

JIT – *Just in Time*

M2M – *Machine to Machine*

MES – *Manufacturing Execution System*

MFV – Mapa de Fluxo de Valor

MRO – *Maintenance, Repair and Overhaul*

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PLM – *Product Lifecycle Management*

RFID – *Radio-Frequency Identification*

RTLS – *Real-Time Location System*

Safran HEB – *Safran Helicopter Engines Brasil*

TI – Tecnologia da Informação

TO – Tecnologia de Operação

TRF – Troca Rápida de Ferramenta

VR – *Virtual Reality*

1 INTRODUÇÃO

A quarta revolução industrial – conhecida como Revolução Digital ou ainda Indústria 4.0 – se baseia em um grupo de novas tecnologias aplicadas em conjunto para obter maior eficiência e atender a novas demandas do mercado (SALKIN *et al.*, 2018). Essas novas tecnologias são conhecidas como tecnologias habilitadoras que, quando aplicadas em conjunto, integram o mundo virtual e o físico, possibilitando o trabalho colaborativo de máquinas e humanos com maior eficiência e mínima ociosidade e desperdício.

Neste contexto, a cadeia de valor do setor aeronáutico tem buscado de forma intensa a aplicação das tecnologias habilitadoras para manter-se competitiva no mercado (SAFRAN-GROUP, 2019). Sendo um setor fortemente regulamentado por órgãos de controle, ele apresenta padrões de manufatura bem definidos permitindo maiores possibilidades de automatização e controle. Contudo, quando são analisadas as etapas da cadeia de valor de componentes aeronáuticos – em especial o pós-venda, que inclui as atividades de manutenção, reparo e revisão geral de componentes, também conhecido como MRO (*Maintenance, Repair and Overhaul*) – alguns desafios ainda persistem, sendo que nesse caso as muitas regulamentações funcionam como barreiras à implementação de novas tecnologias.

Além disso, a indústria de MRO tem aspecto considerável nos negócios, uma vez que apresenta o maior lucro operacional dos fabricantes de equipamentos, devido aos serviços do pós-venda (UHLMANN, BILZ e BAUMGARTEN, 2013). Logo, a aplicação de novas tecnologias pode resultar em aumento na produtividade nesse tipo de Indústria. O objetivo de inserir a indústria de MRO no contexto da Revolução Digital é criar empresas capazes de se adaptar continuamente às condições graças ao uso de tecnologias relevantes, aprendizado organizacional e processos de tomada de decisão que se beneficiam de dados com alta qualidade e maior rapidez (SCHUH *et al.*, 2017).

Para definir os passos para a implementação da Indústria 4.0, é necessário determinar o estado a ser alcançado, o que torna mais clara a visualização do caminho a ser seguido. O conceito de maturidade está intimamente ligado a esse estado, de modo que a avaliação de maturidade consiste em verificar quão longe uma empresa está de seu estado desejado (EROL e SIHN, 2016). As informações decorrentes dessa avaliação serão usadas para desenvolver melhores planejamentos, reduzindo esforços em projetos de pouco impacto. Existem, na literatura, diferentes modelos de avaliação de maturidade para indústrias de manufatura. E por isso é necessário haver adequação para que a análise esteja de acordo com as diferenças da indústria de MRO em relação à de manufatura. Considerando os benefícios que podem ser

obtidos a partir da avaliação de maturidade e da existência de mais de um modelo para essa isso, o tema do trabalho apresenta-se da seguinte forma: modelos de avaliação de maturidade e como eles podem ser aplicados ao caso da Safran Helicopter Engines Brasil .

A Safran Helicopter Engine Brasil (Safran HEB), cujo principal negócio é o MRO, desenvolve um projeto para implementação da Indústria 4.0 em seu sítio e, com isso, poderá obter direcionamento para o seu projeto com a avaliação de sua maturidade. A empresa é alvo do estudo de caso a ser apresentado nessa pesquisa. As especificidades da empresa analisada e a diversidade de modelos de avaliação de maturidade serviram como base para desenvolver a seguinte questão de pesquisa: Como realizar a avaliação de maturidade no caso da Safran HEB? Os objetivos apresentados a seguir apresentam-se como guia para delimitar o que será procurado e o que se pretende alcançar.

1.1 Objetivo Geral

Adaptar um modelo de maturidade para a Indústria 4.0 no caso da Safran Helicopter Engines Brasil.

1.1.1 Objetivos Específicos

Identificar os conceitos relacionados à maturidade e à Indústria 4.0 associados com o estudo de caso.

Analisar a aplicação de modelos de maturidade existentes na literatura ao caso estudado.

Desenvolver sugestões para a implantação dos conceitos da Indústria 4.0 na Safran HEB a partir do modelo adaptado.

1.2 Limitações de Pesquisa

A avaliação de maturidade no tema Indústria 4.0 requer, de modo geral, a avaliação da empresa como um todo (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKAN., 2018). Para facilitar e aumentar a precisão no desenvolvimento da presente pesquisa, a avaliação da maturidade será limitada à filial Safran HEB.

1.3 Metodologia de Pesquisa

A investigação científica é constituída de etapas ordenadamente dispostas que devem ser executadas para investigação de um fenômeno. A descrição da metodologia utilizada em um trabalho científico permite que seja possível reproduzi-lo. Dessa maneira, para o seu correto desenvolvimento, deve ser definido qual método de pesquisa a ser usado. Os métodos dependem da definição de estratégias de pesquisa (LAKATOS e MARCONI, 2006). Segundo

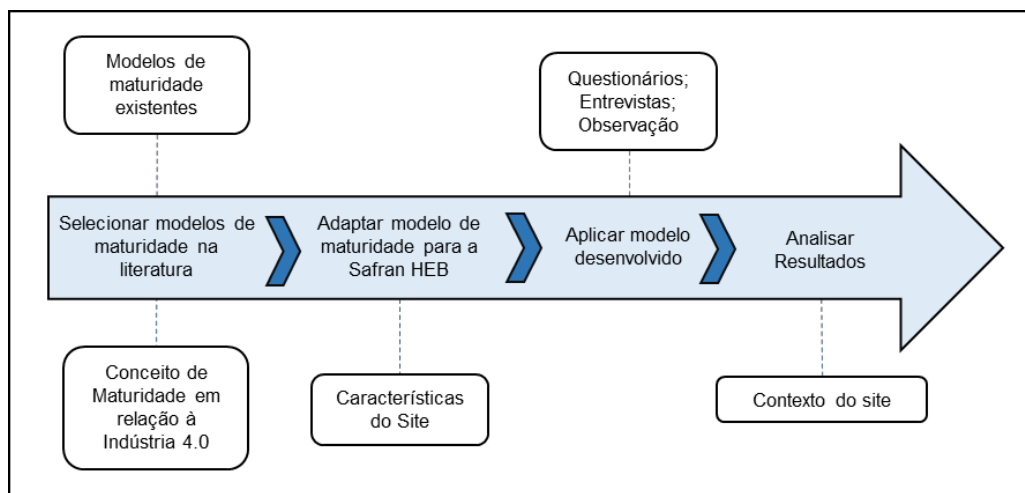
Turrioni e Mello (2012), elas podem ser definidas como as seguintes: Experimento; Modelagem e Simulação; Pesquisa levantamento ou *survey*; Estudo de caso; Pesquisa-ação; *Soft Systems Methodology*. A escolha da estratégia, de acordo com Yin (2001), engloba as seguintes condições: o tipo de questão de pesquisa, quanto de controle há sobre os eventos comportamentais e qual o nível de enfoque sobre os eventos presentes em comparação aos eventos históricos.

Para a coleta de dados, há diferentes lógicas de coleta e análise de dados para cada uma das estratégias de pesquisa, porém todas têm objetivo exploratório, descritivo ou explanatório (YIN, 2001). O objetivo exploratório caracteriza-se pela familiarização com um assunto pouco conhecido para que o autor tenha maior conhecimento sobre o tema. O objetivo descritivo caracteriza uma população, fenômeno ou uma experiência. Por fim, o objetivo explicativo identifica fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência de fenômenos (GIL, 2002).

O trabalho foi baseado na estratégia de adaptar e aplicar um modelo de referência de maturidade para a Safran HEB. Dessa maneira, a pesquisa é classificada como aplicada e a estratégia é a de um estudo de caso. O objetivo de adaptar um modelo para avaliar o nível de maturidade em relação à Indústria 4.0 enquadra-se como descritivo e a abordagem é quantitativa e qualitativa.

Na Figura 1 é mostrado o fluxo de atividades geral para o desenvolvimento do trabalho, no qual são apresentadas as etapas de pesquisa com respectivos insumos externos. A seta indica a ordenação das atividades sendo que para o início da que está à direita, a da esquerda deve estar concluída.

Figura 1 – Fluxo de atividades geral



Fonte: O Autor (2019).

O Quadro 1 mostra em detalhes as etapas da pesquisa, assim como as relaciona a cada objetivo específico e define em qual capítulo estarão alocadas.

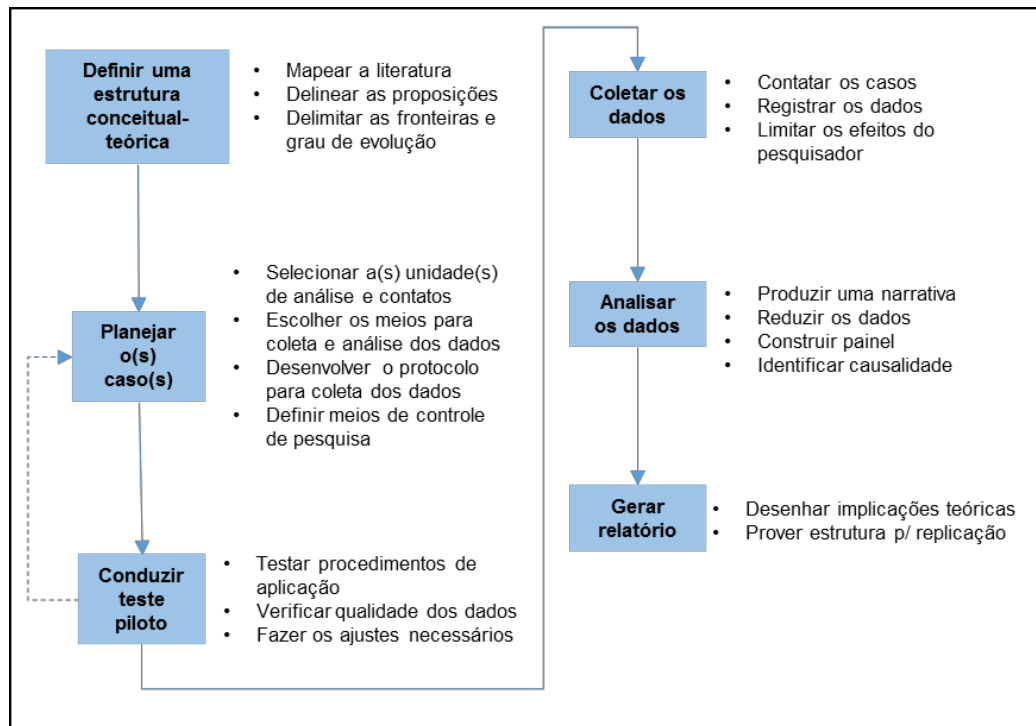
Quadro 1 – Etapas da pesquisa

Etapa da Pesquisa	Capítulo	Objetivos Específico Associado	Descrição
Revisão bibliográfica conceitual	2 Referencial Teórico	Identificar os conceitos relacionados à maturidade e à Indústria 4.0 relacionados com o estudo de caso.	Levantamento bibliográfico a partir de pesquisas acadêmicas e livros relacionados aos temas abordados no trabalho.
Seleção dos modelos de maturidade existentes	2 Referencial Teórico	Analisar a aplicação de modelos de maturidade existentes na literatura para a adaptação ao caso de MRO da Safran HEB.	Seleção dos modelos de maturidade mais relevantes existentes na literatura e que possam ser utilizados no estudo de caso.
Aplicação e comparação dos modelos existentes	3 Estudo de Caso	Analisar a aplicação de modelos de maturidade existentes na literatura para a adaptação ao caso de MRO da Safran HEB.	Utilização dos modelos selecionados no caso estudado. Aplicação e comparação dos métodos de cada modelo.
Adaptação e aplicação do modelo ao caso	3 Estudo de Caso	Analisar a aplicação de modelos de maturidade existentes na literatura para a adaptação ao caso de MRO da Safran HEB.	Adaptação dos modelos selecionados para a realidade da empresa a partir do conhecimento dos modelos e dos resultados da etapa anterior da pesquisa.
Comparação dos modelos	3 Estudo de Caso	Desenvolver sugestões para a implantação dos conceitos da Indústria 4.0 na Safran HEB a partir do modelo adaptado de acordo as especificidades do MRO.	Comparação dos resultados da aplicação dos modelos originais e do modelo adaptado.
Análise dos resultados para implementação da Indústria 4.0	4 Resultados	Desenvolver sugestões para a implantação dos conceitos da Indústria 4.0 na Safran HEB a partir do modelo adaptado de acordo as especificidades do MRO.	Análise dos resultados para o desenvolvimento de sugestões para a implementação dos conceitos da Indústria 4.0.

Fonte: O Autor (2019).

O estudo de caso seguiu a proposta de Cauchick (2007), exposta na Figura 2. Primeiro serão apresentados o planejamento do caso, a condução do teste piloto e a coleta de dados. As três atividades serão abordadas no Capítulo 3. A análise dos dados será feita nos Capítulos 3 e 4 e por fim serão feitas considerações finais sobre o projeto no Capítulo 5.

Figura 2 – Condução do estudo de caso



Fonte: Cauchick (2007).

A definição da estrutura conceitual-teórica é a primeira parte do estudo de caso, mapeando o conteúdo utilizado e delimitando as fronteiras do estudo. Para selecionar os autores mais relevantes na literatura sobre o tema Indústria 4.0, foram realizadas buscas nas plataformas do *Google Scholar*, *Web of Science* e *Scopus*. As palavras-chave utilizadas serão *Industry 4.0*, *Industrial Revolution*, *Smart Manufacturing*. O conteúdo dos artigos foi analisado e utilizado para o desenvolvimento do Referencial Teórico presente no Capítulo 2, de modo que apresente os principais pontos abordados na quarta revolução industrial. Além disso, foram selecionados os modelos de avaliação de maturidade em relação à Indústria 4.0. Nesse caso, as palavras-chave foram “*Maturity Model*” em conjunto com “*Industry 4.0*”.

A segunda parte do estudo de caso – o planejamento – envolveu a seleção das unidades de análise e contatos, os meios para coleta e análise de dados, o desenvolvimento do protocolo para coleta de dados e a definição dos meios de controle. Como o caso foi estudado na empresa em que o autor atuou como estagiário durante o período de janeiro de 2019 a junho de 2019, os

contatos foram parte da equipe da empresa em especial os gerentes das áreas de Produção, Logística, Engenharia e Comercial. Também fizeram parte da pesquisa outros pontos focais, cujos cargos variaram de analistas a diretores.

Para a coleta de dados, podem ser usados meios como questionários, entrevistas, formulários e observação. Segundo Gil (2002), o questionário compreende um conjunto de questões que são respondidas por escrito pelo pesquisado. A entrevista é definida como a técnica que envolve duas pessoas em uma situação “face a face” e em que uma delas formula questões e a outra responde. O formulário é definido como a técnica de coleta de dados em que o pesquisador formula questões previamente elaboradas e anota as respostas.

Para o estudo de caso realizado foi utilizado o formulário como principal meio de coleta de dados, por ser uma técnica que facilita a obtenção de dados facilmente tabuláveis e quantificáveis. Além disso, ela diferencia-se do questionário pelo fato de ser preenchido pelo pesquisador e que ele, portanto, pode explicar com maior clareza as perguntas ou mesmo responder às dúvidas do questionado em relação ao tema – que no caso da Indústria 4.0 ainda é um fato recorrente. As desvantagens apontadas por Gil (2002) como sendo a falta de anonimato e a necessidade de treinamento de pessoal são minimizadas na situação considerada, pois a obtenção de dados foi feita somente pelo autor e a falta de anonimato não pôde produzir interferência nos resultados. Na pesquisa também foi utilizado o método de observação quando foi necessário.

O protocolo de coleta foi desenvolvido a partir dos modelos de maturidade estudados e por isso, eles foram aplicados como teste piloto. Neles serão avaliados os aspectos necessários para melhor adaptação do modelo, como o formato, a quantidade e a distribuição das perguntas de avaliação. A forma de pontuação também será avaliada para que seja aderente aos requisitos do caso. Os dados serão coletados em forma escrita e depois transcritos para tabelas Excel, nas quais serão desenvolvidas análises por meio de planilhas e gráficos.

A pesquisa foi realizada na filial da empresa Safran HEB localizada em Duque de Caxias no estado do Rio de Janeiro. Os questionários encontram-se nos Anexos I e II e foram aplicados como formulários entre os meses de março e junho de 2019.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para suportar o estudo de caso, o referencial teórico será dividido em duas partes principais: a Indústria 4.0 e os modelos de maturidade em Indústria 4.0. O tema Indústria 4.0 será subdividido na origem e desenvolvimento das revoluções industriais, nas tecnologias habilitadoras, nos princípios de implementação e em um tópico sobre a manufatura inteligente. Para explicar o modelo de maturidade serão abordados os principais conceitos envolvidos e os modelos selecionados para pesquisa.

Antes de qualquer definição sobre a Indústria 4.0 é preciso expor que, assim como as outras revoluções industriais, a quarta revolução industrial – conhecida pelo termo Indústria 4.0 ou revolução digital – não engloba apenas o setor manufatureiro como pode se esperar do termo indústria. Na realidade, as revoluções industriais modificaram todos os setores da economia expostos no Quadro 2. A partir desse fato entende-se os motivos para considerar as outras três revoluções como mudanças disruptivas na sociedade e prevê-se que as mudanças provocadas pela revolução digital impactem todo o modo de vida atual.

Quadro 2 – Setores da economia

Sector da Economia	Atividades
Primário	Agricultura, pesca, mineração, entre outros
Secundário	Construção, manufatura
Terciário	Transporte, eletricidade, gás, serviços sanitários, entre outros
Quaternário	Mercado financeiro, seguro, entre outros

Fonte: Adaptado de Kenessey (1987).

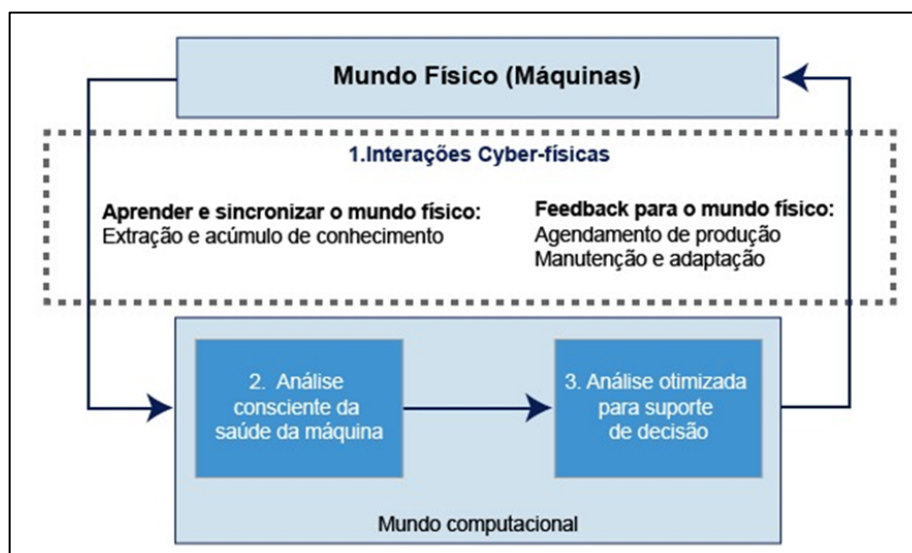
A adoção de tecnologias da informação e de operações geram novas oportunidades de negócio induzidas por transformações baseadas nas seguintes características (LASI; FETTKE; KEMPER; FELD & HOFFMANN, 2014): curtos períodos de desenvolvimento de produtos e serviços; individualização da demanda; flexibilidade; descentralização; flexibilidade; eficiência de recursos. Segundo Santos (2018), a criação de valor no contexto das transformações citadas é caracterizada por fatores intangíveis como melhorias de processos, inovação, conhecimento e habilidades dos trabalhadores.

As três revoluções anteriores serão relacionadas ainda dentro da primeira parte do referencial teórico, ressaltando a evolução do uso dos dados em cada uma delas com base na conceituação da Indústria 4.0 que será apresentada a seguir.

2.1 Indústria 4.0

O termo *Industrie 4.0* – ou Indústria 4.0 – surgiu na feira de Hannover na Alemanha em 2011. Ele é ligado a conceitos como a mecanização e automação, digitalização, *networking* e miniaturização (LASI *et al.*, 2014). A compreensão do termo recai especialmente sobre redes dinâmicas de criação de valor com foco na integração de sistemas físicos básicos a sistemas de *software* em diversos cenários e setores econômicos (SALKIN *et al.*, 2018). Assim, a comunicação toma lugar de destaque, em especial a comunicação entre máquinas (M2M) e comunicação de humanos e máquinas. A Figura 3 representa um exemplo de estrutura proposta para a Indústria 4.0. Nela há uma quantidade significativa de informações utilizadas ao mesmo tempo para alimentar os processos. Entende-se, então, que a informação é fator chave para a implantação da Indústria 4.0. Para isso, devem ser utilizadas técnicas de aquisição de dados eficientes, fundamentais em qualquer tipo de abordagem ao tema (ZHONG *et al.*, 2017).

Figura 3 – Estrutura de sistema cyber-físico para máquinas autoconscientes e com manutenção autônoma



Fonte: Adaptado de Lee et al. (2015).

A quantidade e momento em que as informações são disponibilizadas são aspectos que diferenciam as fábricas inteligentes de fábricas atuais. Dessa forma, as tecnologias da informação têm alto potencial nas fábricas inteligentes, permitindo o cruzamento de informações de operações em tempo real, assim como simular todo o processo. Ambas as

possibilidades permitem a identificação instantânea de problemas físicos e a produção de ações corretivas concorrentes, as quais espera-se otimizarem a performance de todo o sistema de manufatura (ELKASEER *et al.*, 2018).

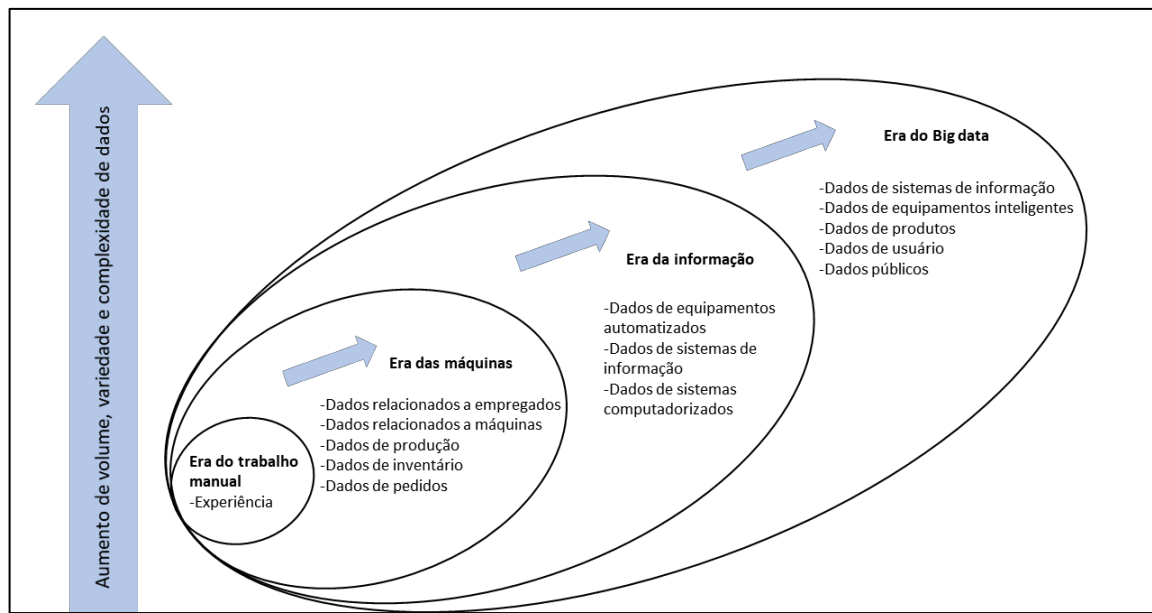
Em fábricas inteligentes, os sistemas cyber-físicos (CPS) – juntamente com a internet das coisas (IoT) – geram uma grande quantidade de dados com alta velocidade e complexidade, conhecidos como *big data*. A análise de dados (*data analytics*) é de fundamental importância para que essa grande quantidade de dados possa ser utilizada pelos fabricantes (LEE *et al.*, 2015; SIVRI; OZTAYSI, 2018). Segundo Sivri e Oztaysi (2018), a análise de dados geralmente é subdividida em três fases:

Análise descritiva: sumariza os dados brutos e reporta o passado. Responde à pergunta: o que aconteceu?

Análise preditiva: é considerada uma fase de previsão que inclui a saída da análise descritiva. Responde à pergunta: o que e como acontecerá?

Análise prescritiva: adiciona valor ao negócio utilizando melhores estratégias e decisões operacionais. Também é uma análise preditiva, pois prescreve algumas ações e caminhos e mostra os resultados prováveis ou influências de cada ação.

A importância dos dados no desenvolvimento da Indústria 4.0 mostrou-se tamanha que Tao *et al.* (2018) define quatro estágios de evolução dos dados na manufatura desde a era do trabalho manual, passando pela era das máquinas, da informação e do *big data*. A Figura 4 mostra a evolução dos dados na manufatura, com vasto aumento de volume, complexidade e variedade dos dados. Nela é mostrada a evolução dos dados começando com a Era do trabalho manual, na qual os dados existentes eram basicamente os da experiência. Para então mostrar os dados da Era das máquinas, na qual passam a ser obtidos dados dos empregados, máquinas, produção, inventário e pedidos. Depois é definida a Era da informação, na qual são acrescentados os dados de equipamentos automatizados, sistemas de informação e sistemas computadorizados. Na Era do *big data*, a mais recente, são agregados dados de novos sistemas de informação, equipamentos inteligentes, usuários, produtos e por fim de fontes públicas (TAO *et al.*, 2018). Dada a importância dos dados, nas explicações sobre cada revolução industrial na próxima etapa do Capítulo 2 será abordada a evolução dos deles.

Figura 4 – Evolução dos dados na manufatura

Fonte: Adaptado de Tao *et al.* (2018).

2.1.1 Origem e Desenvolvimento Das Revoluções Industriais

A importância de retomar as revoluções industriais anteriores está relacionada com o fato de o tema Indústria 4.0 ainda não ser completamente definido por ser parte de uma revolução que está em andamento (RÜTTIMANN e STÖCKLI, 2016).

O estudo das revoluções anteriores permite melhor compreensão do estado atual. Assim, os próximos tópicos apresentam as três revoluções industriais abordadas pela literatura. Após a apresentação das três revoluções, serão apresentados as tecnologias habilitadoras e os princípios de implementação.

A Indústria 1.0 iniciou-se no século XVIII na Inglaterra, com a criação das indústrias em substituição à fabricação totalmente manual. As suas características principais são o uso do carvão como combustível, produção de ferro e o crescimento de sistemas industriais. As primeiras máquinas serviam como ferramentas e eram empregadas como complementares ao trabalho humano (DATHEIN, 2003).

Entre as causas que levaram ao acontecimento da revolução foi o aumento da produção agrícola, impulsionando o crescimento populacional e a quantidade de pessoas disponíveis para trabalhar (ALLEN, 1967).

Os dados envolvidos nessa revolução eram de baixa complexidade e ainda eram, de modo geral, na forma de experiência humana. Essa característica permitiu que informações importantes fossem possivelmente perdidas, de modo que não era possível executar um controle de qualidade (TAO *et al.*, 2018).

A Indústria 2.0 foi marcada pelo uso da eletricidade, acredita-se que a segunda revolução indústria teve início entre 1850 e 1870. Segundo Mokyr (1998), as mudanças na organização da produção foram notáveis, com o surgimento da produção em massa. O desenvolvimento da produção de ferro e aço, assim como o uso de eletricidade e de combustíveis como o diesel e a gasolina, serviram como base para o desenvolvimento da revolução.

Nesse período, inovações no campo da indústria química, com a criação de novos materiais, novas combinações e descoberta de funções auxiliaram o desenvolvimento de produtos desejáveis e o desenvolvimento de processos de produção mais eficientes, como a vulcanização de borracha (MOKYR, 1998). A produção em massa é possível e o principal exemplo é a linha de produção idealizada por Henry Ford.

Sobre os dados nessa revolução, foram desenvolvidas mudanças na forma de processamento na época. A divisão de trabalho entre gerentes e operários permitiu que os gerentes empregassem métodos sistemáticos para documentar e analisar os dados do processo de fabricação. Os dados passam a ser gravados em documentos escritos ao invés de serem armazenados na memória humana como na primeira revolução (TAO *et al.*, 2018).

A Indústria 3.0 teve início por volta da década de 1960, época na qual o avanço tecnológico concentrava-se no desenvolvimento de tecnologias digitais. As tecnologias da informação foram amplamente aplicadas no processo de manufatura (TAO *et al.*, 2018). A diminuição do uso da mão de obra por meio da automação é ainda maior do que a verificada nas outras revoluções por meio de automação de processos, especialmente os que exigem tarefas braçais. Os robôs industriais passam a fazer parte das linhas de produção de empresas inseridas no contexto da revolução. O controlador lógico programável (CLP) – que é um sistema projetado para realizar funções de uma lógica previamente realizada por meio de componente como relês eletromecânicos, contadores de tempo mecânicos, entre outros – foi fundamental nos avanços da Indústria 3.0 (BORDEN; COX, 2012).

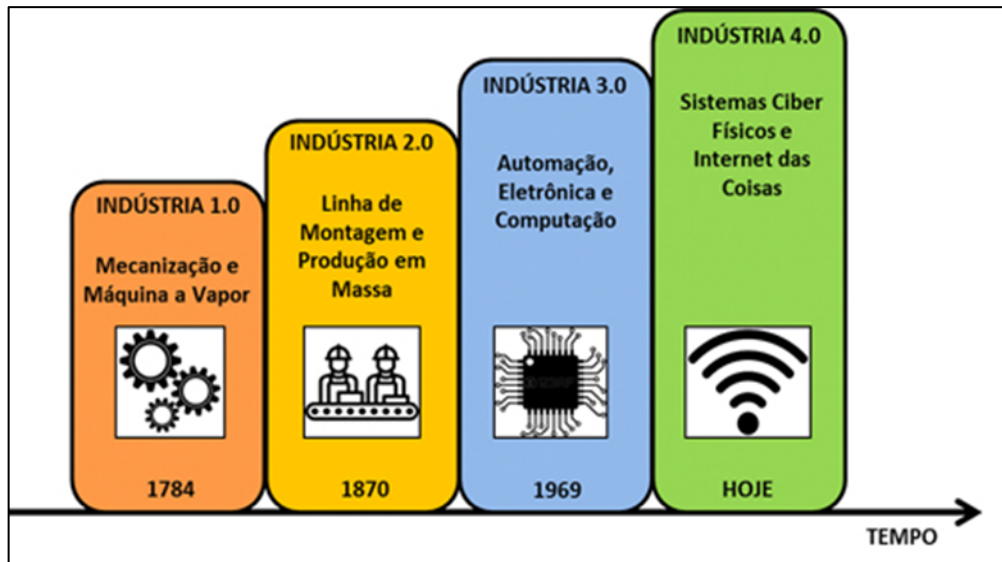
Além disso, a criação de sistemas de informação permitiu a transmissão mais eficiente de dados e informações sobre o processo produtivo de modo que os humanos possam fazer as análises necessárias para a melhoria do processo (TAO *et al.*, 2018). O poder dado pelas tecnologias desenvolvidas nessa revolução moldou a capacidade das pessoas de buscar, encontrar, compartilhar e usar dados de modo a enriquecer tanto a vida pessoal como profissional (FITZSIMMONS, 1994).

O desenvolvimento de semicondutores menores e mais eficientes para a construção de microprocessadores mais potentes também é fator considerado fundamental para a decorrência

da revolução industrial. Com isso, o desenvolvimento de computadores capazes de fazer tarefas mais complexas e com capacidade de processamento muito maior impulsionaram mudanças significativas no uso de dados. O surgimento e desenvolvimento de redes de conexão também é considerado fator importante, permitindo fluxo de dados dentro e fora do ambiente das fábricas (FITZSIMMONS, 1994).

O surgimento do sistema de produção *Lean* trouxe impacto às estruturas construídas na segunda revolução, pois apresenta uma abordagem distinta à linha de produção de Henry Ford. Essa abordagem associa-se à otimização de recursos partindo da eliminação de desperdícios no processo produtivo. O sistema Toyota de Produção utiliza princípios importantes para atingir os seus objetivos. Eles englobam o *Just in Time* (JIT) e a automação. Além disso, são utilizadas as ferramentas de fluxo contínuo, produção puxada, troca rápida de ferramenta (TRF), trabalho padronizado, qualidade na fonte, trabalho padronizado, cinco sentidos (5S), mapa de fluxo de valor (MFV). Combinados, resultam em mínimo desperdício, alta flexibilidade, e aumento de produtividade (OHNO, 1997). A Figura 5 estabelece uma linha do tempo para as revoluções industriais.

Figura 5 – Linha do tempo: Revolução Industrial



Fonte: Aberdeen (2017).

A Indústria 4.0 por sua vez baseia-se em oito avanços tecnológicos, chamados de tecnologias habilitadoras: robótica adaptativa, *big data*, simulação, sistemas embarcados, internet das coisas (IoT), sistemas de nuvem, manufatura aditiva e tecnologias de virtualização. Essas tecnologias habilitadoras devem ser suportadas por sete princípios de projeto que permitem a adaptação e coordenação de todo o sistema empresarial: gerenciamento de dados

em tempo real, interoperabilidade, virtualização, descentralização, agilidade, orientação ao serviço e processos de negócios integrados. Tecnologias básicas como segurança cibernética, sensores e atuadores, RFID e RTLS e tecnologias móveis também devem dar suporte aos avanços tecnológicos (WANG; WANG, 2016).

A sinergia dessas tecnologias e princípios é considerada o problema mais desafiador e ainda precisa de abordagens que possam desenvolver soluções inteligentes para problemas de manufatura (DENKENA; MORKE, 2017). Para melhor compreender as tecnologias relacionadas, o restante do tópico sobre a Indústria 4.0 descreverá cada um dos oito avanços e os sete princípios de implementação que os suportam.

2.1.2 Tecnologias Habilitadoras

São consideradas oito as tecnologias habilitadoras que são necessárias para a implementação da Indústria 4.0 ocorrer de modo bem-sucedido. A seguir cada uma delas terá uma breve explicação.

a) Robótica avançada: combinando microprocessadores melhores e metodologias de inteligência artificial, robôs adaptativos permitem que a manufatura aconteça de maneira mais fácil. A redução de custos e tempo de produção se dão com o uso dos robôs dividindo as tarefas em módulos menores, feitos individualmente e depois integrados (SALKIN *et al.*, 2018).

b) Big Data: o avanço na aquisição de dados por meio de sensores e tecnologias da informação nas empresas resultou em uma quantidade muito grande de informações de diversas fontes. A quantidade de dados coletados continua crescendo exponencialmente e a integração deles, assim como o seu emprego na Indústria 4.0, tem o objetivo de aplicar e melhorar uma adaptação para análise de máquinas e processos baseados em fluxo de informações (SALKIN *et al.*, 2018).

Almeida e Bernardino (2015) explicam que a definição de *big data* pode ser explicada como um volume de dados maior do que os volumes normais. Porém, essa definição pode ser considerada muito simplista e, portanto, considera-se o *big data* como um grande volume de dados – não importando quão grande – que não pode ser gerenciado com arquiteturas tradicionais e que necessita de combinação de técnicas e tecnologias para extrair valor das informações. Assim, volume e valor são duas dimensões essenciais no tratamento dos grandes dados, mas ainda podem ser consideradas mais quatro dimensões para a sua análise. A combinação das seis dimensões para o tratamento é conhecida como 6 V's e envolve as seguintes características (ALMEIDA; BERNARDINO, 2015):

Volume: representa a quantidade real de dados mensuráveis gerados.

Velocidade: é a combinação da rapidez de geração de dados e da rapidez de processamento desses dados.

Variiedade: diversas formas e dimensões nas quais os dados podem ser representados. Geralmente usa-se a divisão de dados estruturados e não estruturados.

Valor: é o conhecimento possível de ser extraído de análise de dados. Depende da necessidade de quem está analisando.

Variabilidade: é a inconsistência que pode ser apresentada nos dados por conta do grande número de fontes de dados autônomas que não possuem controle centralizado.

Veracidade: é o que avalia a qualidade dos dados em uma medida como quanto desses dados podem ser confiáveis para prover informação aceitável para os objetivos do analisador.

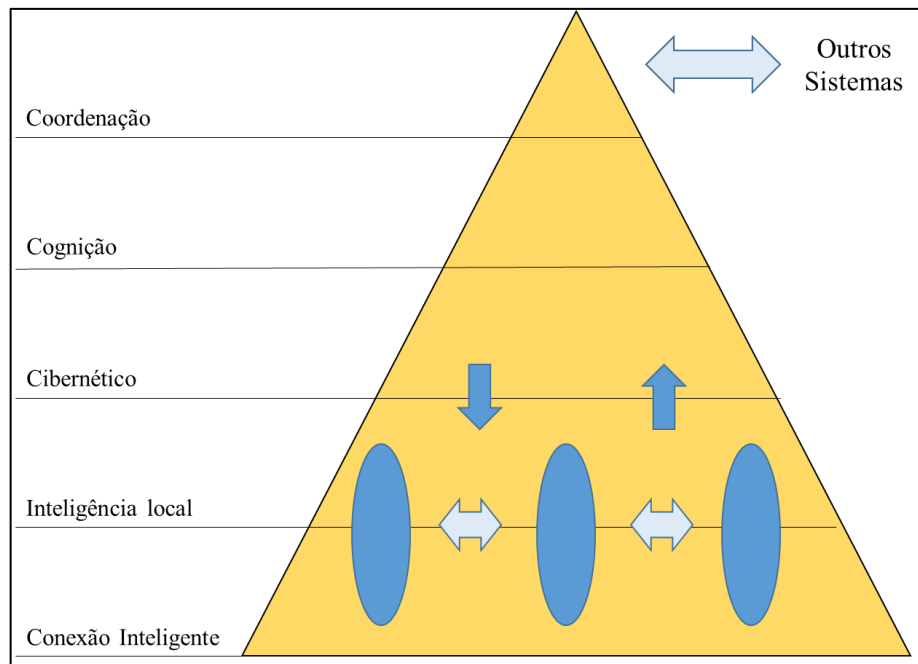
Segundo Salkin *et al.* (2018), há três funções para a implementação do *big data* operando dentro do ambiente da Indústria 4.0. A primeira delas é a aquisição de dados e integração do *big data*, a segunda é o processamento e armazenamento e a terceira é a combinação da mineração de dados e a descoberta de conhecimento na base de dados. No terceiro passo, as máquinas de vetores de suporte, algoritmos de árvores de decisão, redes neurais e algoritmos heurísticos são importantes para a classificação por *cluster*. E para suportar as três funções, os 6 V's precisam ser analisados de modo que dados que não tenham os requisitos necessários em cada uma das seis dimensões sejam descartados utilizando somente dados válidos para o processo em que serão utilizados.

c) Simulação: os testes em produtos e sistemas são essenciais para o seu correto funcionamento e precisam ser efetuados de maneira muito cuidadosa. Assim, a tomada de decisão pode ser auxiliada pela simulação de eventos em 3D, que pode ser adaptada no desenvolvimento de produtos, teste e otimização da linha de produção e desenvolvimento de processos de produção (SALKIN *et al.*, 2018).

d) Sistemas embarcados: são conhecidos por *Cyber-Physical Systems* (CPS) e coordenam os sistemas em rede entre a estrutura física e o mundo digital. Lee *et al.* (2015) explica que existem dois requisitos funcionais importantes para sistemas embarcados. O primeiro é nível avançado de conexão em rede que processa em tempo real tanto os dados da infraestrutura física, como o *feedback* da estrutura digital, e o segundo é o suporte dado para a infraestrutura física pela inteligência de processamento de dados, a tomada de decisão e a capacidade computacional. Ferramentas físicas e digitais integram-se para permitir ações descentralizadas (SALKIN, 2018).

Pisching *et al.* (2017) explica que a integração digitalizada por meio do CPS pode utilizar a arquitetura 5C e viabiliza a operação de produtos inteligentes, flexibilizando a manufatura e proporcionando conectividade. A *Figura 6* mostra a arquitetura 5C revisada por Pisching *et al.* (2017), composta por cinco camadas definidas da seguinte maneira:

Figura 6 – Arquitetura 5C para CPS revisada



Fonte: Adaptado de Pisching *et al.* (2017).

Conexão Inteligente: a interface com os processos físicos da produção ocorre nesta camada. Sensores permitem a atuação dos equipamentos, extraindo dados de conjunto de componentes – objeto inteligente – do ambiente físico.

Inteligência Local: realiza a conversão de dado para informação – interpreta por meio de sensores e atribui significado empírico – e trata as informações geradas.

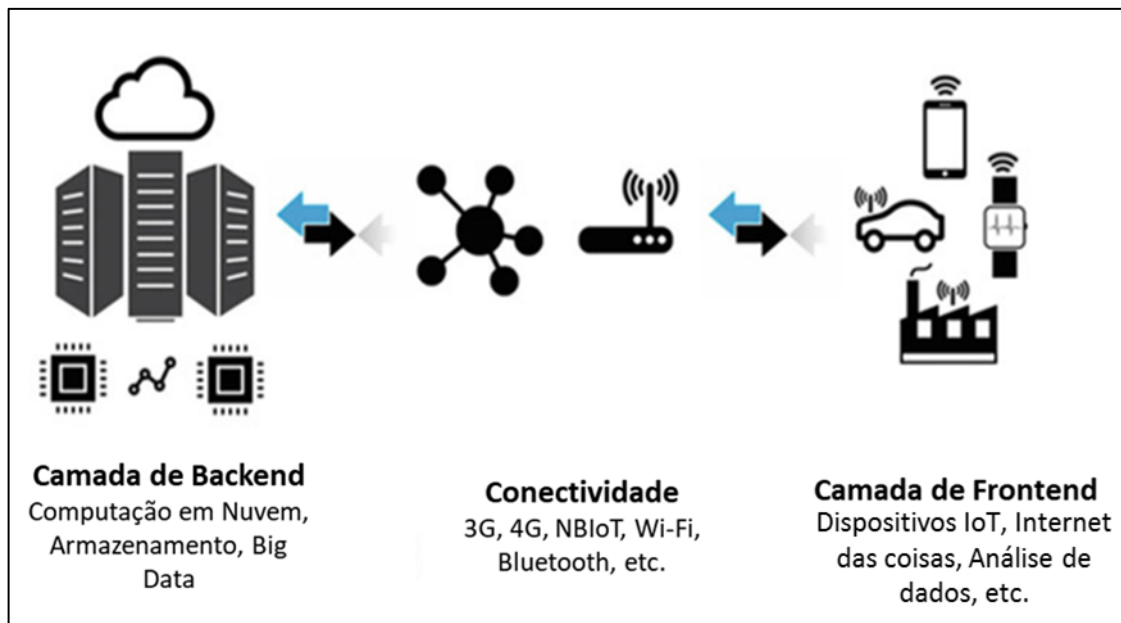
Cibernético: nesta camada há envio e recebimento de informações da camada anterior para agregar dados de todo o sistema e elaborar o modelo virtual, que precisa ser o mais completo e confiável possível para obter observações mais precisas acerca da planta.

Cognição: com o sistema completo, é feita nessa camada a sua análise como um todo. Ou seja, a conexão entre os objetos inteligentes a camada da conexão inteligente deve ser levada em consideração. Nesta camada também já podem ser geradas simulações de diversas configurações da planta.

Coordenação: utiliza os resultados das análises realizadas na camada de cognição para tomar decisões e instruir os envolvidos. Nesta camada é feita a comunicação entre o sistema CPS e outros sistemas externos.

e) Internet das Coisas (IoT): a Internet das Coisas pode ser descrita como uma rede de dispositivos conectados por internet que são capazes de coletar e trocar dados por meio de seus sensores. Com a proliferação de sensores conectados, os dados coletados permitem a tradução do mundo físico para o mundo digital. A Figura 7 mostra como se dá a cadeia de valores da IoT e os principais termos envolvidos (KARACAY; AYDIN, 2018).

Figura 7 – Cadeia de valor e palavras chave da IoT



Fonte: Traduzido de Karacay e Aydim (2018).

Segundo Karacay e Aydin (2018), quatro aspectos mercadológicos amplificaram a integração de IoTs com os sistemas econômicos atuais: a maior penetração da internet, a maior adoção de aparelhos móveis, sensores de baixo custo, continuação do aumento de transistores por área em um circuito integrado.

Carvalho e Bernardino (2017) definem a IoT como a internet na qual dispositivos interligados trocam informações entre si e com os quais os humanos obtêm informações de qualquer área da vida moderna sem a necessidade de intervenção de outro humano. Eles ainda definem que a IoT nunca será algo isolado, tendo propriedades extensíveis e de compatibilidade. Portanto, o avanço da IoT se dá naturalmente pela sua fácil adaptação para diferentes áreas do conhecimento, podendo ser aplicada em gestão de indústrias, infraestruturas,

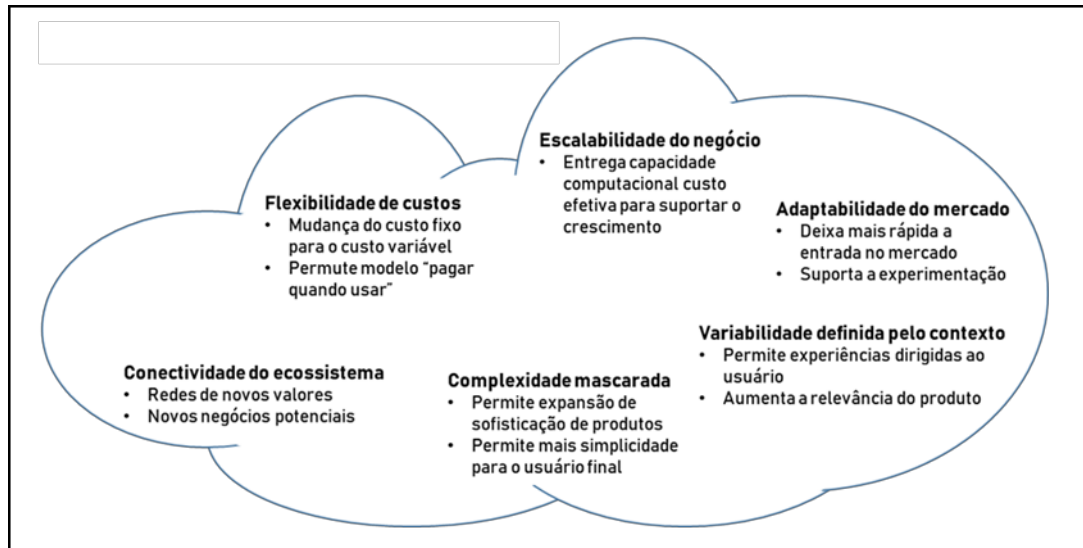
meios de comunicação social, medicina, transportes, entre outros. A relação com o *big data* é notável, visto que as características da IoT implicam na geração de uma grande quantidade de dados – considerando especialmente a diversidade de fontes nas quais esses dados são coletados.

f) Sistemas de nuvem: o uso de sistemas de nuvem pode permear todo o ciclo de vida de produtos, incluindo desde o projeto ao processo de produção, utilização e descarte. Plantas de manufatura que funcionam sob demanda – em sistemas de nuvem – utilizam fontes distribuídas para que criem e operem processos cyber-físicos reconfiguráveis de manufatura (BERMAN *et al.*,2012).

O desenvolvimento de produtos e serviços que podem ser disponibilizados na nuvem para os consumidores é uma vantagem inegável. Porém, a característica de ser usada sob demanda traz benefício econômico capaz de atrair mais empresas a adotarem o sistema em nuvem em prejuízo a sistemas de armazenamento que precisam ser superdimensionados para que possam servir às necessidades das companhias. Dessa forma, evita-se altos investimentos na fase de construção das empresas (BERMAN *et al.*,2012).

A capacidade de um sistema de nuvem de criar e entregar valor para um negócio é esquecido, pelo fato de ser utilizada somente em processos internos. No entanto, é possível tirar vantagem de um sistema de nuvem, transformando não só as operações internas, mas também o relacionamento com os clientes e a própria cadeia de valor da organização (BERMAN *et al.*,2012).

A computação em nuvem usa um modelo de consumo e entrega pago pelo uso, o que permite recursos computacionais configuráveis. Segundo pesquisa realizada pela IBM em 2011 com executivos ligados a negócios e tecnologia, 62% responderam que o aumento de colaboração com parceiros externos é importante ou muito importante como objetivo da implementação do sistema de nuvem. Ainda na pesquisa, 31% dos executivos entrevistados citaram que a nuvem tem potencial de reduzir custos fixos de TI pelo fato de o sistema de nuvem ser pago de acordo com o uso da empresa (BERMAN *et al.*,2012). A Figura 8 mostra os facilitadores de negócios da nuvem, que incluem a flexibilidade de custos, a escalabilidade do negócio, a adaptabilidade do mercado, a variabilidade pelo contexto, a complexidade mascarada e a conectividades do Ecossistema.

Figura 8 – Facilitadores de negócios da nuvem

Fonte: Adaptado de Berman *et al.* (2012).

Ainda de acordo com Berman *et al.* (2012), a flexibilidade de custo é uma razão chave para muitas companhias considerarem o serviço de nuvem. Com os serviços de nuvem, não há mais necessidade de construção de um *hardware*, instalar um *software* ou mesmo pagar a licença desse *software*. A escalabilidade do negócio traz a ideia de que a empresa permite rápida expansão de capacidade computacional sem precisar de um investimento de capital concomitante. A adaptabilidade do mercado envolve a habilidade de atender rapidamente à necessidade do cliente, que pode ser considerado um diferencial competitivo chave. A complexidade mascarada é um outro facilitador explicado pelo fato de a tecnologia de nuvem ocultar algumas partes complexas de sua operação do usuário final, o que permite um alcance maior de clientes. A variabilidade definida pelo contexto fornecida pelos serviços de nuvem permite que as empresas ofereçam experiência personalizada aos usuários. Por fim, a nuvem facilita a colaboração externa com clientes e parceiros, essa característica é a chamada conectividade do ecossistema.

Segundo Salkin *et al.* (2018), os requisitos de um processamento baseado em nuvem são os seguintes:

- Aplicações orientadas por dados são trabalhadas em infraestrutura baseada em nuvem e todos os elementos da cadeia de valores e usuário são conectados pelo sistema de nuvem;
- Analítico em tempo real para notificações e anormalidades;
- Utiliza toda a potencialidade do *big data* para otimizar a performance de sistemas de acordo com mudanças externas repentinas;

- Usuários precisam de aparelho conectado para visualização de informações na nuvem e ter acesso autorizado para aplicações e dados de todos os dados em qualquer lugar.

g) Manufatura aditiva: a manufatura aditiva reúne tecnologias emergentes para produzir objetos tridimensionais a partir de modelos criados digitalmente por meio de processos que adicionam materiais. Os tipos de materiais são diversos e podem ser polímeros, cerâmicos ou metálicos. O projeto digitalizado fornece a informação para que o equipamento responsável inicie o processo de adição por camadas. Com esse processo, a manufatura aditiva entrega versatilidade e desperdício de materiais muito menor do que processos de manufatura subtrativa – como o torneamento, fresa, corte, entre outros. Os avanços na manufatura aditiva permitem respostas rápidas à demanda de customização, assim como reduzem os custos nos processos de montagem e de modelagem de protótipos e ferramentas.

h) Tecnologias de Visualização: a Realidade Virtual (VR) e a Realidade Aumentada (AR) baseiam-se na reflexão do mundo real, ou seja, a informação virtual está sincronizada ao mundo real e o seu propósito de aumentar a percepção humana sobre objetos e elementos (SALKIN *et al.*, 2018).

Salkin *et al.* (2018) ainda citam mais quatro tecnologias que possuem função de suporte às oito tecnologias habilitadoras citadas. A primeira engloba o RFID (Radio-Frequency Identification) e o RTLS (Real Time Location Systems), que suportam as funções críticas de transporte e logística com a localização e identificação dos objetos necessários. A segunda é a Segurança Cibernética, fundamental para a transferência segura de dados da empresa. A terceira engloba Sensores e Atuadores, que são as tecnologias básicas para desenvolver os Sistemas Embarcados. E, por último, as Tecnologias móveis, que a partir da internet recebem e processam grandes quantidades de informações, além de fornecerem capacidade de gravação e transmissão de dados.

2.1.3 Princípios de Implementação da Indústria 4.0

Para que a implementação da Indústria 4.0 ocorra de maneira adequada, é importante que sejam seguidos princípios de implementação. Segundo Salkin *et al.* (2018), existem sete princípios para a implementação da Indústria 4.0 que serão descritos a seguir.

a) Gerenciamento de dados em tempo real: permite a monitoramento do sistema para evitar problemas quando um sistema falha.

b) Interoperabilidade: está relacionada com a comunicação de componentes de sistemas cyber-físicos. O uso da IoT e de processos padronizados auxiliam a construção das fábricas inteligentes.

c) Virtualização: permite monitorar a adaptação de um sistema, mudanças de um sistema ou simplesmente o sistema como um todo por meio de ferramentas de simulação e realidade aumentada.

d) Descentralização: fundamental para permitir a tomada de decisões por máquinas que baseiam o seu aprendizado em eventos e ações anteriores.

e) Agilidade: flexibilidade do sistema a mudanças em requisitos, como ao modificar um módulo de um sistema de software padronizado com interfaces de hardware também padronizadas.

f) Orientação ao serviço: é a adaptação do sistema aos requisitos dos clientes a partir da integração dos subsistemas internos e externos.

g) Processos de negócio integrados: liga os sistemas físicos e plataformas de software permitindo comunicação e mecanismos de coordenação auxiliados pelos serviços de gerenciamento de dados e redes conectadas.

As tecnologias habilitadoras fornecem a base para o desenvolvimento da Indústria 4.0, enquanto os princípios de implementação orientam e integram as tecnologias, permitindo que a empresa entre na revolução digital de maneira homogênea. O tópico sobre manufatura inteligente, a seguir, é um tema complementar às tecnologias habilitadoras e aos princípios de implementação, trazendo uma abordagem prática do funcionamento de uma manufatura inserida na Indústria 4.0.

2.2 Manufatura Inteligente

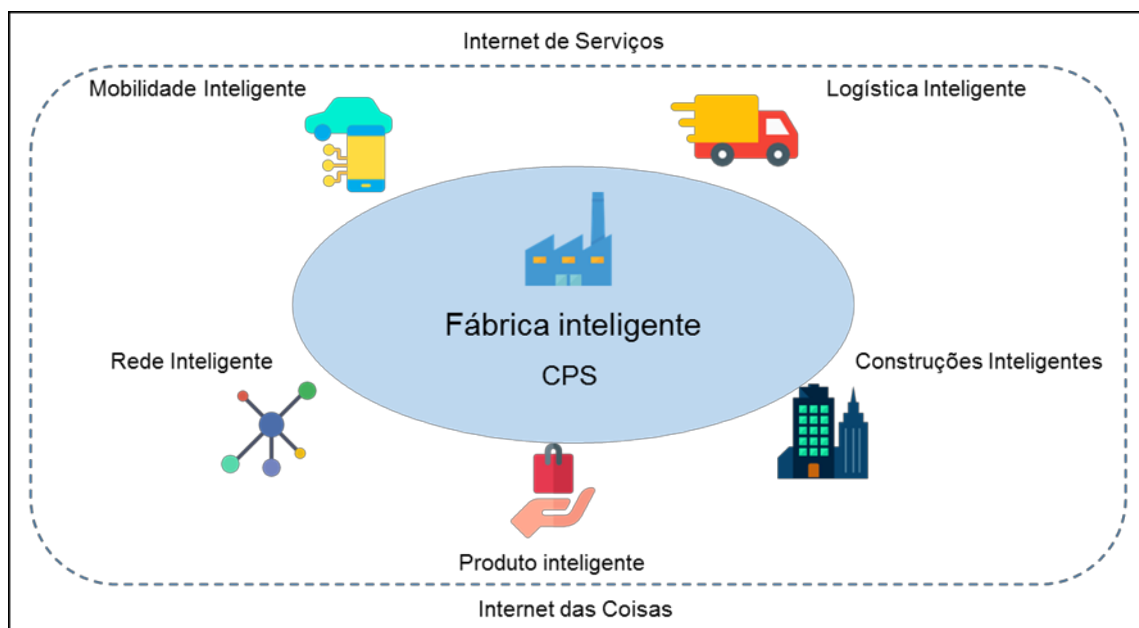
As tecnologias habilitadoras constituem a base para que a informação tenha um aspecto relevante no ambiente da manufatura inteligente. Por exemplo, a IoT, com a variedade de sensores necessários para o seu funcionamento, provê dados em tempo real da manufatura. A computação em nuvem permite o acesso, gerenciamento e análise desses dados inclusive fora da planta de produção.

A convergência entre os mundos físico e cibernéticos já é uma noção a ser internalizada pelas companhias que desejam se desenvolver de acordo com os novos conceitos da Indústria 4.0. A conversão de dados dos produtos e de todo o processo de produção em inteligência de manufatura tem intuito de trazer impactos positivos em todos os aspectos da manufatura – (TAO *et al.*, 2018).

Na realidade, a manufatura pode ser considerada um paradigma constituído de várias tecnologias que podem promover inovação estratégica em indústrias existentes por meio da convergência de humanos, tecnologia e informação (KANG *et al.*, 2016).

Segundo Kang *et al.* (2016), antes do advento da manufatura inteligente as tecnologias de manufatura já estavam sendo individualmente – ou conjuntamente – desenvolvidas. Por exemplo, já havia estudos sobre a internet das coisas, sensores e *big data* em curso. Porém, para o sucesso do novo tipo de manufatura, são necessárias redes, sistemas de processamento de dados e metodologias de troca de dados rápida em ambientes complexos. A Figura 9 mostra a dependência da manufatura inteligente da conexão de outras partes inteligentes por meio da IoT e IoS (*Internet of Services*).

Figura 9 – Manufatura Inteligente com IoT e IoS



Fonte: Adaptado de Kang *et al.* (2016)

A manufatura inteligente baseia-se em dados para estabelecer uma nova estrutura, como mostrado na Figura 10. Nela é possível observar quatro módulos que funcionam em sincronia para produzir e utilizar as informações com o intuito de aumentar a produtividade com base nos princípios de implementação da Indústria 4.0.

O funcionamento dos módulos ocorre da seguinte maneira: o módulo de manufatura acomoda as atividades de manufatura, gerando as informações nos sistemas de manufatura

(CRM¹, ERP², MES³ e PLM⁴). Nesse módulo ainda são considerados os dados adquiridos no processo de manufatura como um todo (dados variados de operadores humanos, equipamentos de produção, sistemas de informação e redes industriais). O módulo direcionador de dados produz a força que direcionará a manufatura inteligente pelos diferentes ciclos de vida dos dados da manufatura. A entrada para o ciclo de vida, os dados do módulo de manufatura precisam ser transmitidos para os *data centers* baseados em nuvem para serem analisados. A análise gera informações explícitas que são usadas diretamente nas ações tomadas no módulo de manufatura, além disso os módulos de monitoramento em tempo real e de processamento em tempo real também são acionados pelo módulo direcionador de dados. O módulo de monitoramento em tempo real tem o papel de monitorar o processo de manufatura em tempo real para assegurar a qualidade do produto. Além disso, a análise em tempo real do status do processo permite aumentar a eficiência da planta de manufatura (KANG *et al.* 2016).

Ainda sobre a Figura 10, o relacionamento das tecnologias habilitadoras e dos princípios de implementação com a estrutura apresentada pode ocorrer da seguinte maneira: no módulo de manufatura a robótica avançada, a manufatura aditiva e a IoT automatizam, aumentam a agilidade de respostas e integram os processos de manufatura. O módulo direcionador de dados utiliza os conceitos de *big data* no tratamento dos dados obtidos do módulo de manufatura, os inclui nos sistemas de nuvem e realiza a análise para criar simulações e utilizar as tecnologias de visualização para avaliar os resultados. Por meio de sistemas embarcados e das tecnologias usadas nos outros módulos, os módulos de processamento de problemas e de monitoramento em tempo real integram os processos de negócio assim como gerenciam os dados em tempo real para obter maior agilidade (KANG *et al.*, 2016 e TAO *et al.*, 2018).

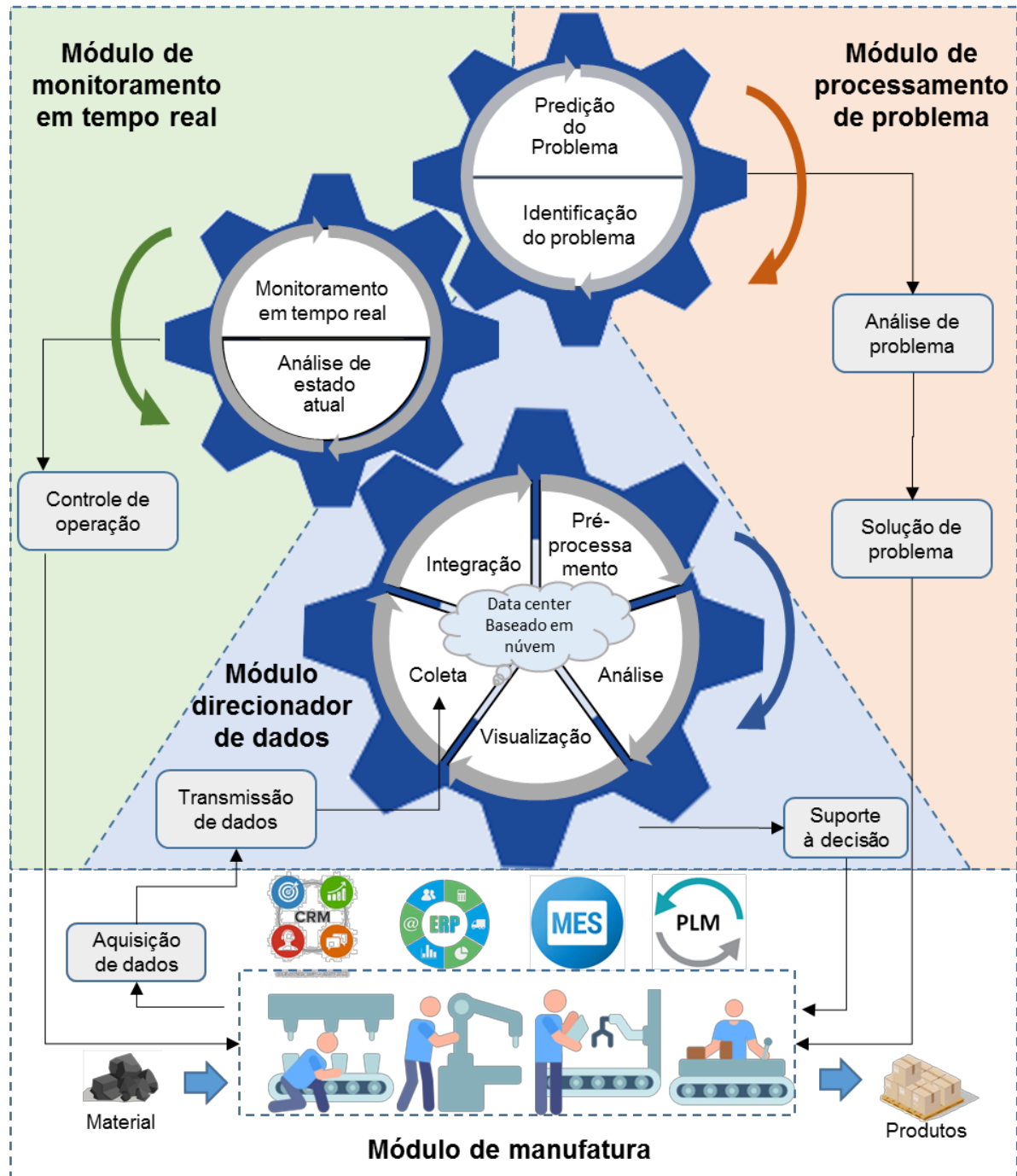
¹ CRM (*Customer Relationship Management*) refere-se a uma classe de sistemas de TI utilizada para gerenciar o relacionamento com os clientes, automatizando processos relacionados com essa atividade.

² ERP (*Enterprise Resource Planning*) refere-se a softwares integradores de todos os processos da empresa.

³ MES (*Manufacturing Execution System*) refere-se a sistemas computadorizados usados na manufatura com o objetivo de rastrear e documentar o processo de transformação do material em produto final.

⁴ PLM (*Product Life-cycle Management*) refere-se a um software de gerenciamento do ciclo de vida do produto, desde a concepção, até a entrada em serviço.

Figura 10 – A estrutura da manufatura dirigida por dados



Fonte: Adaptado de Tao et al. (2018)

2.3 Modelo de Maturidade

Maturidade pode ser definida como o estado completo, perfeito ou pronto de uma área de interesse. A premissa para essa definição é que processos, áreas e componentes humanos evoluem por meio de um processo de desenvolvimento na direção de uma maturidade mais avançada, com determinado número de níveis (SANTOS, 2018). Segundo Mylopoulos (1992),

modelos representam a descrição de aspectos de uma realidade física ou social com o intuito de comunicar e compreender. Os modelos são descritivos, explanatórios ou preditivos, pois podem reproduzir aspectos da realidade sem parcialidade, entregar uma representação de conexões para melhor entender a realidade ou recomendar uma solução eficiente para uma realidade futura (METTLER, 2011).

A incerteza advinda da implementação de conceitos da Indústria 4.0 em relação ao retorno dos investimentos reforça a necessidade de conhecer o estado atual da empresa quando se considera a maturidade em relação à Indústria 4.0. A transformação digital decorrente da implantação da Indústria 4.0 é de alta complexidade e deve ser planejada para ocorrer de maneira incremental evitando a disrupção total e não sincronizada.

Segundo Schumacher, Erol e Sihm (2016), os modelos de maturidade são comumente usados como um instrumento para captar e medir a maturidade de uma organização em relação a uma determinada meta. Os modelos incluem dimensões e níveis, de modo que cada dimensão representa capacidades específicas do domínio de interesse e os níveis são rótulos ordinais que significam estágios de maturidade (SANTOS, 2018).

O Quadro 3 mostra como Santos (2018) cita as principais vantagens e desvantagens do uso de um modelo de maturidade.

Quadro 3 – Vantagens e Desvantagens do Modelo de Maturidade

Vantagens	Desvantagens
Estão prontos para uso, não sendo necessários gastar tempo e pensar sobre a concepção e desenvolvimento do modelo;	Existem modelos com escopos que atendem somente parcialmente à necessidade. Ele foi desenvolvido a partir de uma determinada disciplina;
Já foram testados, usados por outras instituições e pessoal especializado;	Parecem ser generalistas e não mostram o verdadeiro dinamismo da instituição que deseja aplicá-lo;
Ele continua a ser desenvolvido, com muitas pessoas e instituições que os utilizam e contribuem para o seu aperfeiçoamento.	Eles são únicos e têm que ser usados na própria forma como foram construídos, por isso não são flexíveis.

Fonte: Santos (2018)

De acordo com Basl (2018), há dois tipos de avaliação de maturidade: a nível de países e a nível empresarial. A avaliação das empresas individualmente é diferente da avaliação a nível internacional, pois não necessariamente precisa de comparação com dezenas de outras empresas. Ainda segundo Basl (2018), há autores que denominam seus modelos como modelos

de prontidão (*readiness*), porém eles podem ser considerados como modelos de maturidade e serão chamados dessa maneira.

Para selecionar os modelos a serem analisados, foram feitas pesquisas nas bases *Scopus* e *Web of Science* a partir das expressões “*Industry 4.0*” e “*Maturity Model*”. As pesquisas indicaram que o artigo explicando o modelo de Schumacher, Erol e Sihn (2016) foi o mais citado e por isso foi o primeiro a ser selecionado. O modelo de Lichtblau *et al.* (2015) foi selecionado por ter sido um dos primeiros modelos de maturidade em Indústria 4.0 e por servir como base de desenvolvimento para outros modelos. O modelo de Schuh *et al.* (2017) tem alta relevância por ter sido desenvolvido pela Acatech (*National Academy of Science and Engineering*), importante entidade da Alemanha no desenvolvimento dos conceitos da Indústria 4.0 e foi selecionado. Por fim, o modelo de Akdil, Ustundag e Cevikcan. (2018) foi escolhido por fazer parte do livro *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, uma das principais fontes da pesquisa bibliográfica.

Para facilitar o desenvolvimento do estudo, os modelos foram ordenados de maneira cronológica e numerados da seguinte maneira:

Modelo 1: *IMPULS-industrie 4.0-readiness* (LICHTBLAU *et al.*, 2018);

Modelo 2: *A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises* (SCHUMACHER, EROL E SIHN., 2016);

Modelo 3: *Industry 4.0 Maturity Index* (SCHUH *et al.*, 2017).

Modelo 4: *Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy* (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018)

I. *IMPULS-industrie 4.0-readiness*

O modelo da fundação IMPULS, que faz parte da associação de indústrias alemã de engenharia mecânica, apresenta seis dimensões da Indústria 4.0 para formar o modelo de prontidão. As dimensões foram organizadas no Quadro 4, no qual também são colocadas questões relacionadas para cada uma delas.

Quadro 4 – Dimensões x Questões relacionadas

Dimensão	Questão relacionada
Estratégia e Organização	Até que ponto a Indústria 4.0 está estabelecida e implementada na estratégia de sua empresa?

Fábrica Inteligente	Até que ponto a sua empresa integrou e automatizou a produção com base em sistemas ciber físicos?
Operações Inteligentes	Até que ponto os processos e produtos da empresa são digitalmente modelados e capazes de serem controlados por meio de sistemas de TI?
Produtos Inteligentes	Até que ponto o seu produto pode ser controlado pela tecnologia de informação, possibilitando a comunicação e interação com sistemas na cadeia de valor?
Serviços orientados por dados	Até que ponto a empresa oferece serviços orientados por dados que são possíveis somente pela integração de produtos, produção e clientes?
Empregados	A empresa possui os empregados com as habilidades necessárias para implementação dos conceitos de Indústria 4.0?

Fonte: Adaptado de Lichtblau *et al.* (2015).

A maturidade é dada em seis níveis diferentes, utilizados para avaliar cada dimensão com o suporte de 18 critérios de avaliação como mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Dimensões e Critérios Modelo IMPULS

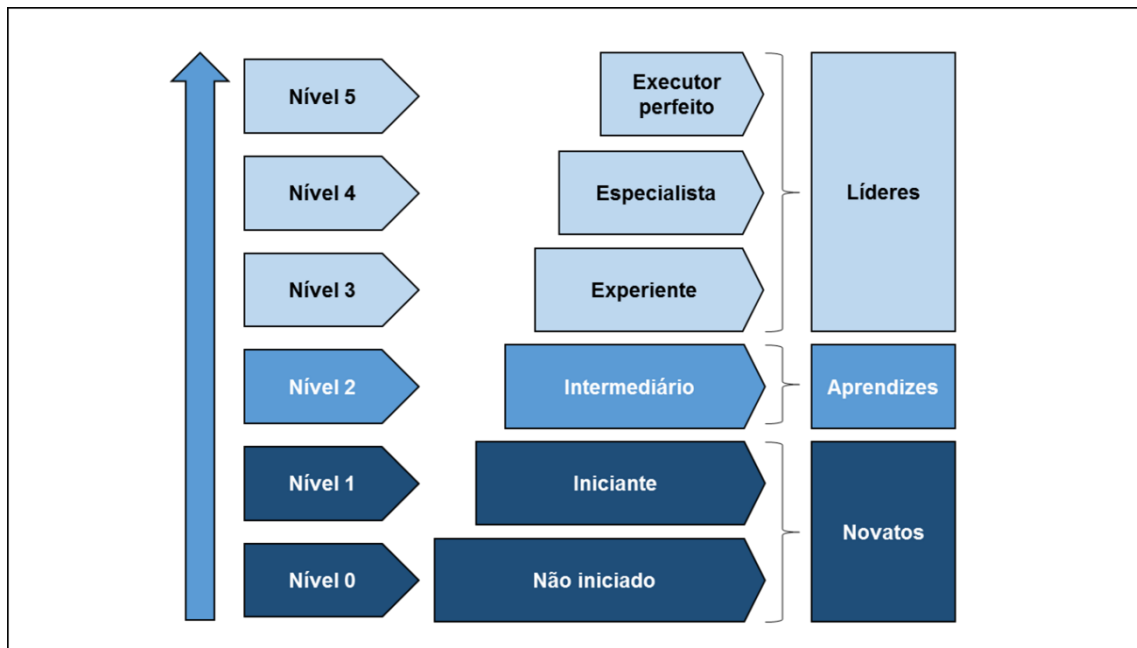


Fonte: Adaptado de Lichtblau *et al.* (2015)

Para as empresas realizarem uma autoavaliação, foi desenvolvida uma plataforma eletrônica que utiliza um questionário baseado nos 18 critérios para avaliar a empresa e

compará-la com outras empresas. Para a comparação, no questionário há partes que definem o tamanho da empresa. Os níveis de avaliação seguem como apresentado na Figura 12 e são listados a seguir. Também é mostrada a divisão dos níveis de maturidade em três grupos: (os líderes, envolvendo os níveis 3, 4 e 5) os aprendizes (nível 2) e os novatos (níveis 0 e 1).

Figura 12 – Níveis Modelo IMPULS



Fonte: Adaptado de Lichtblau *et al.* (2015)

Nível 0 – Não Iniciado: não atende a nenhum critério. É um nível para empresas que não possuem nenhum conhecimento sobre a Indústria 4.0 ou desconhecem os conceitos relacionados.

Nível 1 – Iniciante: a empresa possui iniciativas em vários departamentos. Somente alguns dos seus processos têm suporte de sistemas de TI e a infraestrutura de equipamentos satisfaz apenas uma parte dos requisitos de integração e comunicação. Sistemas integrados e compartilhamento de informação dentro da empresa são limitados a algumas áreas. As soluções de segurança de TI ainda estão na fase de planejamento ou implementação. Os produtos fabricados estão nos primeiros passos no sentido das funcionalidades baseadas em sistemas de TI. As habilidades necessárias para expansão da Indústria 4.0 são encontradas apenas em algumas áreas da empresa.

Nível 2 – Intermediário: a empresa incorpora a Indústria 4.0 na sua orientação estratégica. Está desenvolvendo uma estratégia para implementação da Indústria 4.0 e os indicadores apropriados para medir o status da implementação. Mais áreas estão recebendo

investimentos para o desenvolvimento da revolução digital. Alguns dados de produtos são coletados automaticamente, porém usados de maneira limitada. A infraestrutura de equipamentos não satisfaz os requisitos para expansão futura. Há alguma integração no sistema de compartilhamento de informação dentro da empresa e os primeiros passos foram dados para integrá-lo aos parceiros de negócios. Soluções de segurança de TI já estão instaladas e em expansão. Os produtos com as primeiras funcionalidades baseadas em sistemas de TI são fabricados. Em algumas áreas, os empregados possuem as habilidades necessárias para expandir a Indústria 4.0.

Nível 3 – Experiente: a empresa já possui uma estratégia formulada para a Indústria 4.0. Há investimentos em várias áreas, promovendo a introdução da Indústria 4.0 por meio de gestão de inovação dirigida aos departamentos. Os sistemas de TI em produção são interligados por meio de interface e suportam os processos de produção com dados coletados automaticamente de áreas chave. A infraestrutura de equipamentos pode ser melhorada para acomodar expansão futura. Compartilhamento de informações internas e externas está parcialmente integrada ao sistema. Soluções de segurança de TI foram implementadas. Soluções baseadas em nuvem são planejadas para acomodar expansão futura. Nesse nível, a empresa fabrica produtos com variadas funcionalidades de sistemas de TI conectadas. Com esses produtos são dados os primeiros passos para a criação de um serviço baseado em dados, porém ainda sem integração com os clientes. Melhorias nas habilidades dos funcionários está sendo feita para aumentar os esforços em direção à Indústria 4.0.

Nível 4 – Especialista: a estratégia para a Indústria 4.0 já está sendo usada e monitorada com os indicadores apropriados. Investimentos já estão presentes em quase todas as áreas relevantes e o processo é suportado por uma gestão interdepartamental. Os sistemas de TI já estão presentes em quase todo o processo de produção, coletando grande quantidade de informações, que serão utilizadas para otimização da linha. A infraestrutura de equipamentos já está adequada aos requisitos futuros de integração. O compartilhamento de informações internamente e externamente já estão integradas ao sistema. Soluções de segurança de TI já são usadas nas principais áreas. Já há exploração de locais de trabalho guiados automaticamente e processos de reação automática. As partes do produto e o produto final possuem funcionalidades que permitem a coleta de dados e análise durante a fase de uso. Essas funcionalidades suportam serviços suportados por dados, que os clientes já usam e representa uma pequena parte da fonte renda da empresa. Na maior parte das áreas relevantes da empresa há funcionários com as habilidades necessárias para a Indústria 4.0.

Nível 5 – Executor Perfeito: a estratégia para a Indústria 4.0 já implementou e monitora regularmente o status da implementação de outros projetos. Investimentos por toda a empresa suportam a implementação. A gestão de inovação está implementada em toda a empresa. Sistemas de TI suportam a produção e coletam dados importantes automaticamente. A infraestrutura de equipamentos satisfaz todos os requisitos para integração e comunicação integrada. Informações são compartilhadas tanto internamente como externamente com parceiros de negócios. Soluções de segurança de TI foram implementadas e as soluções baseadas em nuvem entregam arquitetura de TI flexível. As partes do produto e o produto possuem funcionalidades baseadas em TI e coletam dados durante a fase de uso para serem usados no desenvolvimento do produto, na manutenção remota e no suporte de vendas. A empresa possui a expertise interna necessária em todas as áreas críticas e pode prosseguir com a Indústria 4.0.

II. A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises

O modelo de maturidade de Schumacher, Erol, Sihni (2016) inclui nove dimensões – Estratégia, Liderança, Clientes, Produtos, Operações, Cultura, Pessoas, Governança e Tecnologia. As nove dimensões englobam 62 itens de maturidade, os quais combinados com os respectivos fatores geram o nível de maturidade definido na Equação (1), na qual M é a maturidade, D é a dimensão, I é o item, g é o peso e n é o número do item de maturidade.

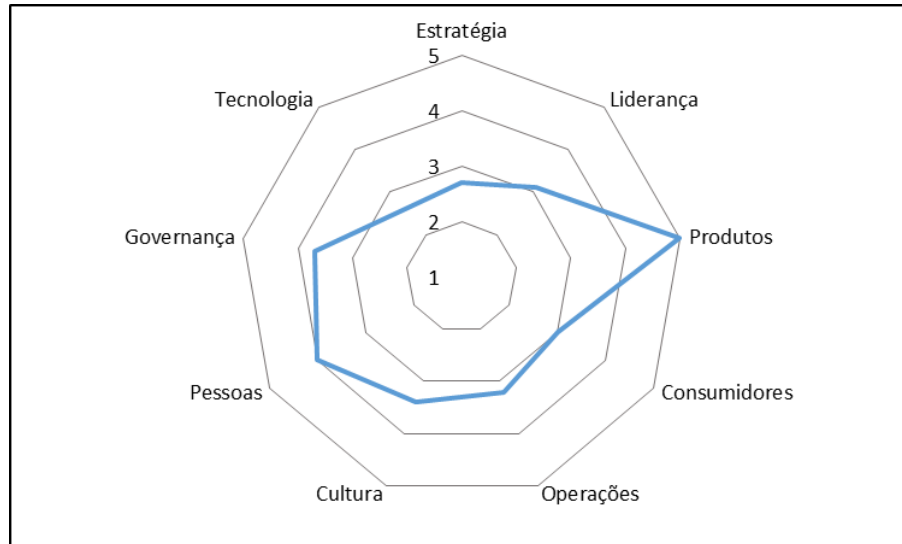
$$M_D = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Dli} * g_{Dli}}{\sum_{i=1}^n g_{Dli}} \quad (1)$$

A pesquisa desenvolveu uma ferramenta para facilitar o cálculo do nível de maturidade para então representar e visualizar a maturidade por meio de um relatório e gráficos para a organização como um todo – como representado na Figura 13 – e para cada dimensão avaliada – como representado na Figura 14.

O procedimento de avaliação da maturidade desse modelo consiste na mensuração dos itens de maturidade em uma empresa por meio de um questionário. Para então calcular o nível de maturidade nas nove dimensões com o auxílio de um software e por fim representar e visualizar a maturidade por relatórios e gráficos do tipo radar. O questionário é padronizado e consiste em uma pergunta objetiva por item de maturidade. Cada questão é respondida por uma escala *Likert* definida do 1 ao 5. A partir do cálculo para cada dimensão, obtém-se a maturidade

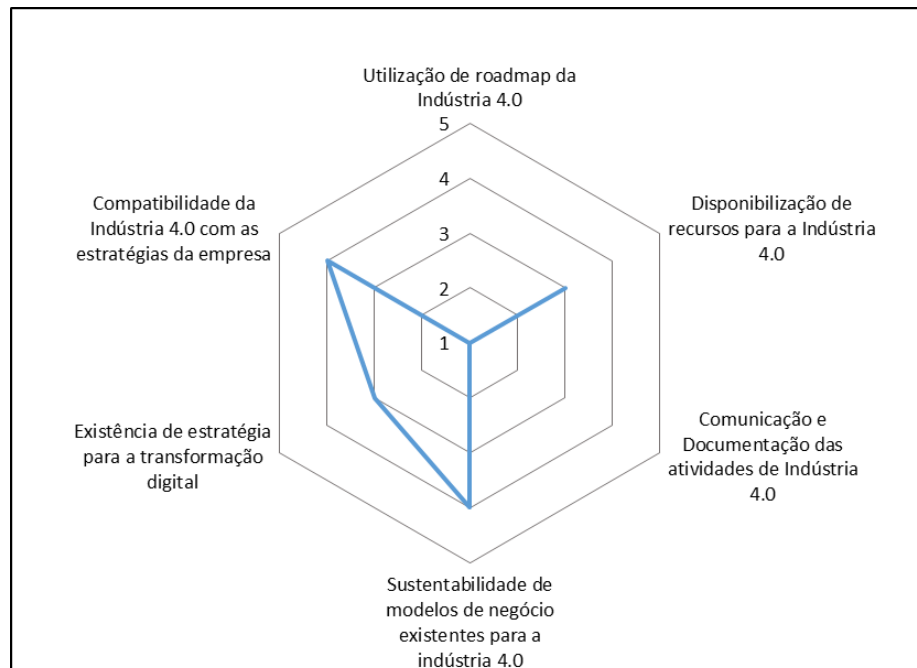
do nível 1, que descreve a completa falta de atributos suportando a Indústria 4.0, ao nível 5, que representa o estado da arte dos atributos necessários.

Figura 13 – Visualização da maturidade das nove dimensões



Fonte: Traduzido de Schumacher, Erol, Sihn. (2016)

Figura 14 – Resultados detalhados da dimensão estratégia



Fonte: Traduzido de Schumacher, Erol, Sihn. (2016)

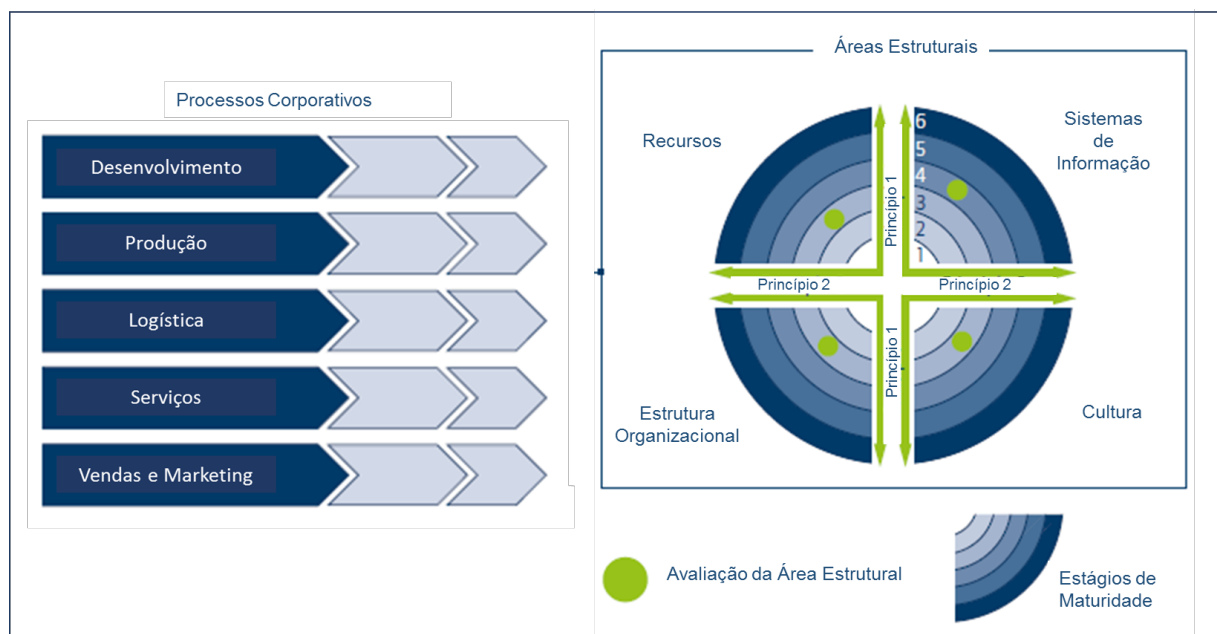
O estudo de Schumacher, Erol, Sihn (2016) explica que o nível de detalhamento e o modo de representação foram ajustados para as necessidades práticas do meio industrial,

transformando o modelo em uma ferramenta de fácil entendimento para que as empresas possam se auto avaliar e por isso os envolvidos para o preenchimento do questionário precisam ter apenas o mínimo de conhecimento sobre a Indústria 4.0.

III. Industry 4.0 Maturity Index (SCHUH et al., 2017)

O modelo desenvolvido por SCHUH *et al.* (2017), utiliza como base a Estrutura de Produção e Gestão – *Production and Management Framework* – que divide os aspectos internos da empresa em Estrutura Corporativa, Processos Corporativos e Desenvolvimento Corporativo. A Estrutura Corporativa se refere aos aspectos indispensáveis para a produção de bens e serviços. Os Processos Corporativos – mostrados na Figura 15 – englobam os processos que interligam cada área da empresa, enquanto o Desenvolvimento Corporativo se refere ao desenvolvimento estratégico e operacional da empresa.

Figura 15 – Processos Corporativos e Áreas Estruturais



Fonte: Adaptado de Schuh *et al.* (2017)

O estudo ainda divide áreas estruturais como mostrado na Figura 15 – Recursos, Estrutura organizacional, Cultura e Sistemas de Informação. Cada área estrutural é guiada por dois princípios, assim como as capacidades necessárias, como mostrado pela Figura 16. Para cada uma das capacidades são formuladas perguntas que medirão o nível de maturidade em seis níveis para cada Área de Estrutural de cada Processo Corporativo.

No modelo são sugeridos seis níveis de maturidade como descritos abaixo.

Nível 1 – Informatização: as empresas já utilizam a informatização para automatizar processos repetitivos e servem de base para a digitalização. Os processos ocorrem de maneira isolada e não há integração entre sistemas como o MES, ERP e CAD⁵.

Nível 2 – Conectividade: alguns sistemas operacionais permitem conectividade e interoperabilidade, porém sem implementação da integração completa dos sistemas de informação.

Nível 3 – Visibilidade: a visibilidade de informações que são obtidas por meio de sensores e aquisição de dados de toda a organização é disponibilizada aos envolvidos na cadeia de valor. A quantidade de dados é considerada grande (*Big Data*) e é integrada aos sistemas ERP, PLM e MES. Com as informações, os gerentes podem tomar decisões não somente baseados em sua experiência.

Nível 4 – Transparência: com a estrutura digital desenvolvida no estágio anterior, o entendimento dos dados e dos problemas para entender eventos passados e presentes engloba o estágio da Transparência. Nesse estágio é gerado conhecimento por meio da identificação da causa raiz do problema criação de planos de ação para solucioná-los. Sistemas de *Data mining* e softwares são usados para simulação e análise de probabilidades no monitoramento de máquinas e equipamentos, linha de produção, sistemas logísticos e monitoramento de inventários.

Nível 5 – Capacidade preditiva: com esse estágio a empresa tem capacidade de realizar simulações de diferentes cenários futuros identificando os mais prováveis. Com a predição, é possível automatizar a resposta de processos, aumentando a eficiência e lucratividade. A capacidade preditiva é fortemente ligada aos trabalhos relacionados feitos anteriormente. Uma cópia digital construída corretamente combinada com o conhecimento das interações ajuda a assegurar que as previsões e as recomendações feitas a partir deles tenha um padrão alto.

Nível 6 – Adaptabilidade: a capacidade de predição é fundamental para ações e decisões automatizadas. A adaptação contínua permite que sistemas de TI tomem algumas decisões, tornando mais rápida a adaptabilidade ao ambiente de negócios. O nível de adaptabilidade depende da complexidade das decisões e do custo benefício relacionado. É importante que a empresa saiba que a automação de aprovações e de informações para clientes é sensível e em alguns casos não deve ser feita. O objetivo da adaptabilidade é alcançado quando uma empresa consegue usar os dados de uma cópia digital para a tomada de decisão que tem os melhores

⁵CAD (*Computer Aided Design*) é um software para projetar desenhos técnicos.

resultados possíveis no menor tempo possível implementando as medidas cabíveis automaticamente.

Os dois primeiros níveis são considerados ainda fora da Indústria 4.0, mas como passos fundamentais em direção à transformação digital. Os quatro últimos níveis relacionam-se com os benefícios oriundos da implantação da Indústria 4.0.

Para a avaliação da maturidade, o modelo determina que seja elaborado um questionário avaliando cada uma das capacidades necessárias. Por exemplo, na Área Estrutural de Recursos, há a capacidade de “prover competências digitais”, cuja pergunta relacionada pode ser elaborada como mostrado no Quadro 5.

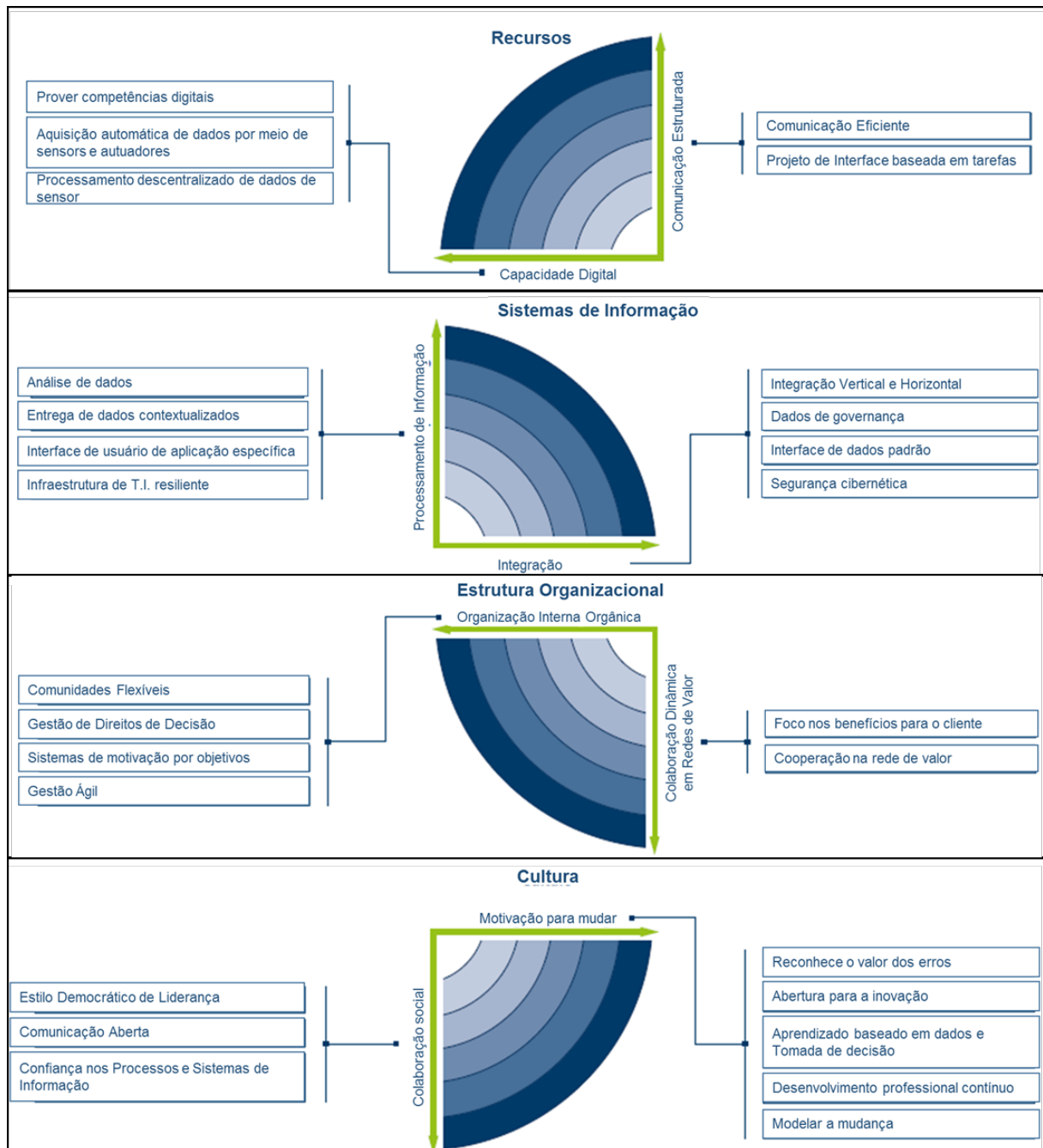
Quadro 5 – Exemplo de pergunta para questionário Schuh et al. (2017)

Qual o nível do desenvolvimento de competências digitais?	
() 1	Empregados tem conhecimento dos diferentes sistemas de TI existentes na empresa
() 2	Empregados tem conhecimentos sobre as formas de vazamentos de informação (segue padrões de segurança de T.I.)
() 3	Empregados tem diferentes habilidades de T.I. Para compreender as aplicações e processos usados em diferentes partes do negócio
() 4	Empregados têm acesso a dados e informações necessários
() 5	Empregados têm conhecimento necessário para realizarem tomada de decisão
() 6	Empregados utilizam sistemas de T.I. para otimizarem tarefas autonomamente

Fonte: O Autor (2019)

A Figura 16 mostra quais são os dois princípios que guiam cada uma das áreas estruturais, assim como os requisitos ligados a cada um deles. A concatenação em uma só estrutura resume a parte mais importante do modelo, pois as perguntas a serem criadas para a avaliação de maturidade devem ser criadas a partir dos requisitos apresentados. Dessa maneira é possível localizar, por exemplo, que o requisito “Segurança Cibernética” está relacionado com o princípio “Integração” da área estrutural “Sistemas de Informação”.

Figura 16 – Modelo para avaliação das Áreas Estruturais



Fonte: Adaptado de Schuh *et al.* (2017)

IV. Modelo de maturidade e prontidão para a estratégia de Indústria 4.0 (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKAN, 2018)

Por ser o mais atual, os autores puderam avaliar uma quantidade maior de modelos anteriores para criarem o próprio. Na explicação do desenvolvimento do modelo, foi salientado que a implementação da Indústria 4.0 sofre com a falta de direcionamento estratégico e com a avaliação falha das capacidades de Indústria 4.0 da empresa. O modelo inclui 13 campos associados que foram agrupados em três dimensões como mostra o Quadro 6.

Quadro 6 – Estrutura Modelo 4

Dimensões	Sub-dimensões	Campos Associados
Produtos e Serviços inteligentes		Produtos e Serviços inteligentes
Processos de Negócio Inteligentes	Produção e Operações inteligentes	Produção, Logística e Compras
		P&D – Desenvolvimento de produto
	Marketing e Operações inteligentes	Serviço de pós-venda
		Precificação/Promoção
		Canais de venda e distribuição
	Operações de suporte	Recursos Humanos
		Tecnologias da Informação
		Finança Inteligente
Estratégia e Organização		Modelos de Negócios
		Parcerias estratégicas
		Investimentos em Tecnologia
		Estrutura Organizacional e Liderança

Fonte: Traduzido de Akdil, Ustundag e Cevikcan (2018).

A dimensão de Produtos e Serviços Inteligentes mede se os produtos oferecidos pelas empresas possuem funcionalidades como a interação com o ambiente, armazenar dados, realizar tarefas computacionais e fornecer informações como identidade, propriedades, status e histórico. A dimensão de Processos de Negócios Inteligente contém as operações funcionais da empresa e elas são avaliadas de acordo com os princípios e tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. A dimensão de Estratégia e Organização é definida como um componente de entrada para o processo de transformação da Indústria 4.0. O desenvolvimento de novos produtos e serviços inteligentes e as operações de negócio inteligente dependem do desenvolvimento de modelos de negócio condizentes com as transformações digitais da Indústria 4.0, investimentos em tecnologias habilitadoras e colaboração de parceiros estratégicos.

É importante ressaltar que na dimensão de Produtos e Serviços, são levadas em consideração questões relacionadas com o termo modelo de negócio digital. O termo se refere

a um conjunto de componentes determinados da seguinte maneira (WEILL e WOERNER, 2013):

Conteúdo: determina o que é consumido – a exemplo de informações do produto, preços e detalhes – e produtos digitais.

Experiência: determina como é a experiência do cliente, de que maneira o conteúdo é consumido. Inclui processos de negócio digitais voltados ao cliente, entrada de clientes, expertise para informar a tomada de decisão, recomendação, ferramentas e interface.

Plataforma: determina como o conteúdo é entregue e engloba os outros processos de negócio que não são voltados ao cliente, incluindo dados de consumidores, tecnologia utilizada, hardware, redes públicas e parceiros.

Cada campo associado no modelo de maturidade é pontuado com um questionário de zero a três pontos. Depois disso são calculados pontos dos campos associados e agrupados sob dimensões e sub-dimensões com o intuito de identificar os níveis de maturidade individualmente. As equações (2), (3), (4) servem para o cálculo da maturidade de cada campo associado à dimensão, cada dimensão e geral, respectivamente. Nessas equações, M é a maturidade, D é a dimensão, A é o campo associado, O é geral, n é o número total de questões e m é o número de campos associados.

$$M_{DAi} = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{Aij}}{n} \quad (2)$$

$$M_D = \frac{\sum_{i=1}^m M_{DAi}}{m} \quad (3)$$

$$M_O = \min(M_1, M_2, M_3) \quad (4)$$

Nível 0 – Ausência. Companhia que não consegue atender a nenhum requisito da Indústria 4.0.

Nível 1 – Existência. A companhia tem algumas iniciativas nos seus departamentos funcionais. Provê produtos, porém sem capacidade de serem completamente *smart*. Níveis de integração e automação são baixos e o uso e coleta de dados não são suficientes para realizar a transformação em Indústria 4.0. Tecnologias digitais e nuvem não foram implementadas em todas as operações. Gestores de topo consideram implementar estratégia de Indústria 4.0 com investimentos em algumas áreas.

Nível 2 – Sobrevivência. Nível de maturidade no qual os produtos da empresa são capazes de gerenciar dados em tempo real e ser rastreado em diversos sites. Serviços dirigidos aos dados são oferecidos em nível médio. Os processos de negócios da empresa estão integrados a nível médio. Processos estão prontos para serem descentralizados e há interoperabilidade em algumas áreas. Liderança está desenvolvendo planos para a Indústria 4.0 e fez investimentos em algumas áreas. Companhia está criando parcerias com outras empresas e com centros acadêmicos.

Nível 3 – Maturidade. Nível no qual a empresa tem produtos definidos como *smart* e serviços dirigidos a dados são disponibilizados a um alto nível. Os processos de negócio da empresa estão em um alto nível de integração, coleta, uso e agilidade. Quase todos os processos são capazes de serem descentralizados e o princípio de interoperabilidade está implementado em várias áreas. A liderança dá suporte para a Indústria 4.0 e fez investimentos em quase todos os departamentos. A estrutura organizacional é compatível para o gerenciar a transformação pela empresa. Há várias parcerias com outras empresas, centros acadêmicos, fornecedores e provedores de tecnologias.

Os limites para determinar a classificação entre os níveis são mostrados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Limites para classificação

Nível de maturidade	Baixo	Alto
Nível 0: Ausência	0,0	0,9
Nível 1: Existência	0,9	1,8
Nível 2: Sobrevivência	1,8	2,7
Nível 3: Maturidade	2,7	3,0

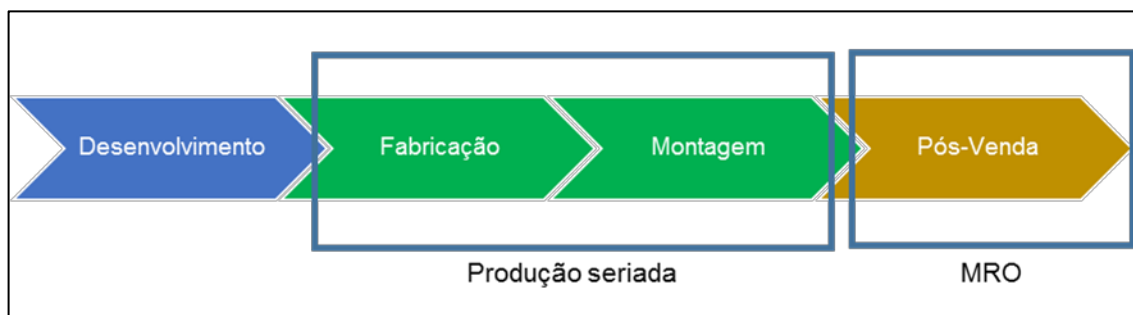
Fonte: Traduzido de Akdil, Ustundag e Cevikcan (2018).

Os quatro modelos se baseiam nas tecnologias habilitadoras apresentadas e nos princípios de implementação para avaliarem a maturidade. Os modelos que possuem o questionário pronto englobam perguntas sobre aspectos funcionais e diretos, por exemplo, se algum sistema de nuvem é usado, qual o nível de utilização de manufatura aditiva e de robôs adaptativas e colaborativos. Com isso, o desenvolvimento do estudo de caso depende da compreensão de todas as tecnologias habilitadoras e princípios de implementação, de modo que se tornem suporte para a compreensão e análise dos modelos de maturidade, auxiliando a adaptação para o caso estudado.

3 ESTUDO DE CASO

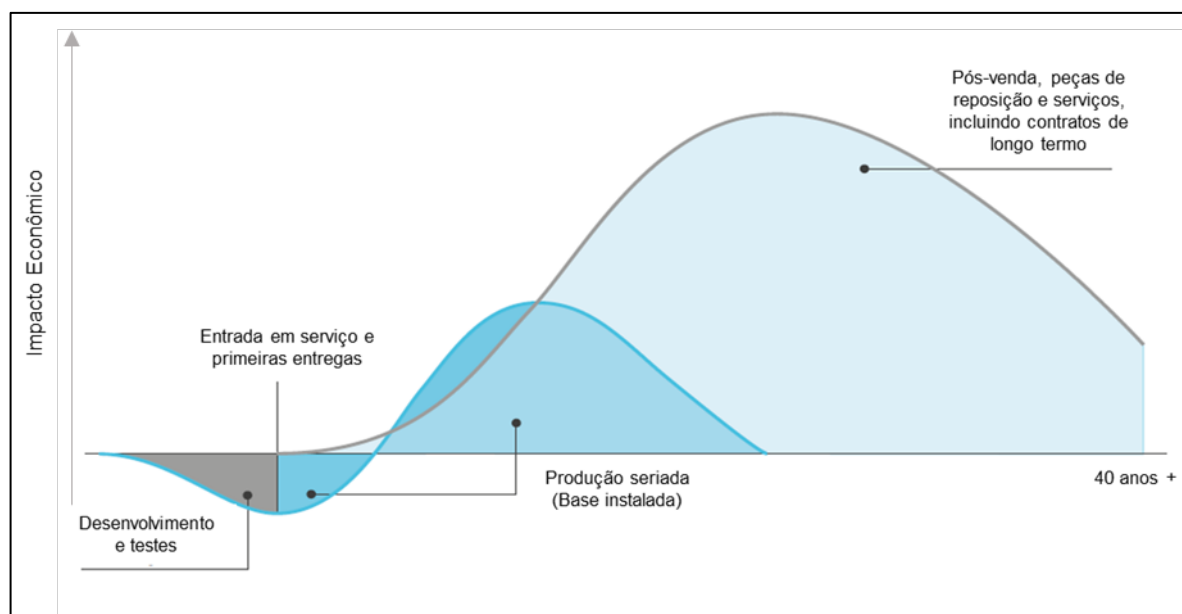
Para iniciar o desenvolvimento do estudo de caso, será explicado o seu contexto, incluindo a sua posição na cadeia de valor de um motor de helicóptero. A cadeia de valor de uma aeronave está intrinsecamente ligada à de sua propulsão, especialmente quando é considerada a participação desse componente no custo total da aeronave. O caso estudado trata da filial brasileira – Safran HEB – da subsidiária Safran Helicopter Engines que faz parte do grupo Safran. O negócio da subsidiária está voltado ao desenvolvimento, fabricação, montagem e manutenção de motores para helicópteros. O negócio do sítio envolve uma linha de montagem em regime CKD (*Completely Knock-Down*) para um tipo de motor e o MRO para três linhas de motores do grupo, portanto o MRO deve ser considerado o principal negócio da filial. Para visualizar a posição da Safran HEB, uma visão geral da cadeia de valor para um motor de helicóptero pode ser vista na Figura 17, na qual o site está envolvido nas atividades de pós-venda e na montagem dos motores.

Figura 17 – Cadeia de valor motor de helicóptero



Fonte: O Autor

Apesar de ser intuitivo pensar que a venda de motores novos represente a maior parte da renda do programa de motor de uma aeronave, o pós-venda – venda de peças de reposição e serviços (MRO) – possui participação econômica maior durante o ciclo de vida do programa do motor – que pode se prolongar por mais de 40 anos como mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Ciclo de vida econômico de um programa de motor de uma aeronave

Fonte: Traduzido de Safran-Group (2019)

Portanto, o aumento da eficiência nos sites de MRO do grupo tem alto impacto no ciclo econômico dos programas de motores a longo prazo. Em busca desse aumento de eficiência, a Safran HEB desenvolve um projeto de planejamento estratégico cuja fundamentação encontra-se no campo de desenvolvimento da Indústria 4.0. O desenvolvimento do projeto poderá ser beneficiado com a avaliação de maturidade da empresa, pois ela torna os princípios de implementação e aplicação das tecnologias habilitadoras tangíveis.

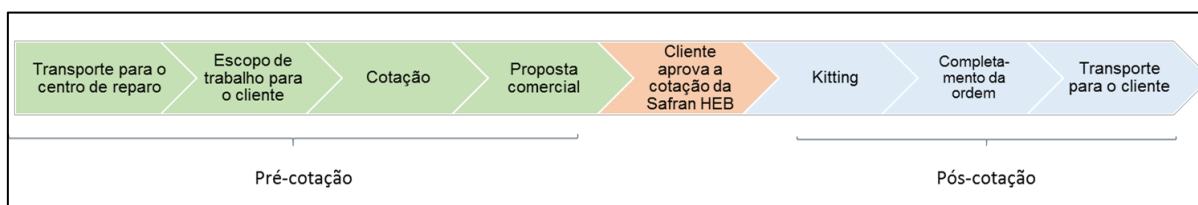
Um dos motivos para o alto impacto da manutenção e reparo no ciclo econômico é o fato de o MRO aeronáutico ser um tipo de indústria submetida a diversas regulamentações nacionais e internacionais que, para manterem a robustez⁶ desejada de componentes aeronáuticos, empregam rigorosos padrões de procedimentos na operação e manutenção desses componentes. Safran HEB atua como um centro de MRO de motores de helicópteros do grupo para toda a América Latina e outros países. Por isso precisa atender às exigências documentais de todos os países em que atua, cumprindo uma série de requisitos de certificação dos órgãos regulamentadores de cada país em que atua.

O processo geral do MRO na Safran HEB é guiado pelo fluxo de atividades mostrado na Figura 19. A primeira atividade envolve o caminho feito pelo ativo – motor – para ser

⁶ Característica dada a produtos que possuem confiabilidade e falhas conhecidas. O não robusto pode ter alta confiabilidade, mas falhas desconhecidas.

submetido à uma manutenção⁷ ou reparo⁸. O processo é iniciado com o cliente que explica o motivo de retirada do motor da aeronave para o *Field Rep*⁹ que analisa a requisição do cliente, que encaminha o *Logbook*¹⁰ para o *Front Office* que cria o caso, organiza o transporte do motor e envia as informações de entrega ao cliente e informa o receptor logístico da previsão de chegada. O ativo com os documentos necessários é enviado e o reparo ou manutenção são realizados. Após o recebimento do ativo, o escopo de trabalho para o cliente é feito e as peças necessárias são definidas antecipadamente. A cotação é feita a partir da desmontagem do ativo, análise dos componentes ainda sujos, para então serem submetidos a processos de limpeza, testes não destrutivos, conferências dimensionais e à inspeção visual para então ser feito um relatório técnico. Com o conhecimento de todos os componentes a serem substituídos ou reparados, é enviada uma proposta comercial para o cliente que irá aprová-la ou não. Todo o processo descrito até o momento é chamado de pré-cotação. A pós-cotação, que ocorre após a aprovação do cliente, envolve primeiramente a coleção de todas as partes necessárias para a remontagem do ativo – chamada de *kitting* – para então ser realizado o completamento da ordem que envolve a montagem dos componentes, o teste e ajustes do motor, a preparação final e a emissão dos certificados necessários. A parte final do MRO é o transporte para o cliente.

Figura 19 – Processo de MRO Safran HEB



Fonte: O Autor (2019)

Apesar da diminuição da possibilidade de automação em função da complexidade das atividades produtivas, o emprego das tecnologias habilitadoras abre possibilidade de aumento de eficiência e consequente diminuição de tempo e custos para a empresa. Porém, devem ser levadas em consideração as limitações decorrentes de atividades regulamentadas ou de

⁷ Intervenção de menor escala no motor, há desmontagem apenas parcial dos componentes.

⁸ Intervenção de maior escala no motor, há desmontagem completa dos componentes.

⁹ Empregado cuja função é dar o suporte aos clientes em campo, podendo auxiliá-los remotamente ou meso indo às bases de operação para auxiliar os clientes em qualquer situação com o motor.

¹⁰ É um conjunto de documentos que reportam o histórico de toda a aeronave e seus componentes desde a sua data de manufatura. O dono da aeronave tem a obrigação de mantê-los completos e atualizados. Qualquer intervenção realizada no componente como inspeções, testes, reparos, alterações, boletins de serviços, entre outros (FAA, 2008).

procedimentos inerentes aos serviços realizados e que exigiriam mudanças em organizações externas à empresa estudada. Um exemplo de limitação está ainda no início do processo de MRO: a etapa de escopo de trabalho para o cliente exige a análise do conteúdo do *Logbook* por um funcionário a partir dos registros físicos. Levando em conta que a digitalização é um aspecto fundamental para atender aos princípios de implementação da Indústria 4.0, essa atividade deveria ser feita a partir de registros digitais. Isso seria possível se todos os clientes utilizassem um sistema digitalizado para preenchimento do *Logbook*, porém para clientes com poucas aeronaves ou mesmo com apenas uma aeronave o sistema seria inviável financeiramente. Para esse exemplo ainda é importante lembrar que o registro físico do *Logbook* é obrigatório para a comprovação da aeronavegabilidade¹¹ da aeronave.

3.1 Planejamento do Estudo de Caso

Após a definição da estrutura conceitual teórica e de introduzir o caso estudado, o desenvolvimento da pesquisa se dará em três etapas: a aplicação dos modelos existentes, a adaptação do modelo de maturidade para o caso e a aplicação desse modelo adaptado. A adaptação do modelo faz parte do planejamento do caso definido por Cauchick (2007) e é a etapa em que serão aplicados os modelos selecionados no Capítulo 2, uma análise comparativa dos modelos selecionados será desenvolvida e por fim serão escolhidos os meios de coleta e análise de dados assim como o desenvolvimento de protocolo para coleta de dados e meios de controle de pesquisa. A aplicação do modelo adaptado incluirá a condução do teste piloto, e a coleta de dados.

Para a adaptação do modelo de maturidade, considerou-se as características do site em questão: a atividade principal é o MRO de motores de helicópteros, porém, os modelos mostrados no capítulo de referencial teórico são focados na indústria manufatureira. Os modelos 3 e 4 possuem foco de aplicação abrangente, enquanto os outros dois modelos avaliados – 1 e 2 – possuem área de aplicação limitada. Por isso, a aplicação em uma empresa de MRO precisa ser adaptada, visto que existem tecnologias habilitadoras e princípios da Indústria 4.0 que têm relevância menor para esse tipo de Indústria.

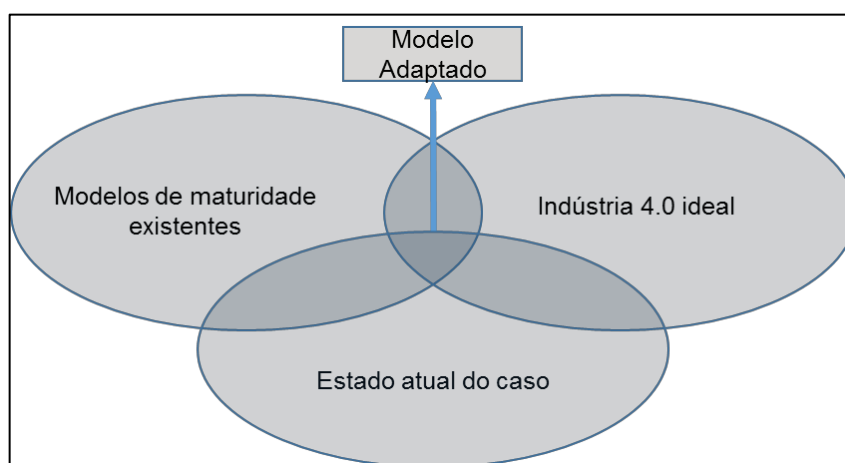
Para realizar a adaptação optou-se por aplicar os modelos cujas perguntas de avaliação estão disponíveis. Nesse caso, o modelo 1 e 4 estavam disponíveis e foram aplicados com o intuito tanto de realizar um teste piloto como de obter avaliações que pudessem ajudar na

¹¹ Condição em que uma aeronave está de acordo com o seu projeto aprovado pela autoridade competente, caso aplicável, e em condições de operação segura (ABNT, 2011).

adaptação do modelo. Além disso, será feita uma análise comparativa dos modelos existentes selecionados no Capítulo 2, para selecionar o modelo que melhor se enquadra para a adaptação e verificar os pontos fortes e fracos dos modelos para a adaptação ao caso estudado.

A adaptação do modelo será o produto da análise de três blocos mostrado na Figura 20: dos modelos de maturidade existentes, da Indústria 4.0 ideal e do estado atual do caso. Desses blocos, os dois primeiros já foram visitados no Capítulo 2 e o estado atual do caso foi abordado na seção inicial do Capítulo 3 e será abordado com a análise dos resultados apresentados nas próximas seções.

Figura 20 – Interseção dos blocos para adaptação do modelo



Fonte: O Autor (2019)

3.2 Aplicação dos Modelos de Maturidade

Os Modelos 1 e 4, respectivamente dos autores Lichtblau *et al.* (2015) e Akdil, Ustundag e Cevikcan (2018), possuem questionários prontos e disponíveis e por isso puderam ser aplicados para o caso estudado. A aplicação dos questionários facilitará a adaptação do modelo, pois serão a primeira experiência de aplicação de avaliação de maturidade em Indústria 4.0 na empresa. A compreensão dos temas abordados nas avaliações será melhor, facilitando a posterior aplicação do modelo adaptado. Os Anexos A e B referem-se, respectivamente, aos questionários completos dos Modelos 1 e 4. A seguir serão abordados os resultados das aplicações.

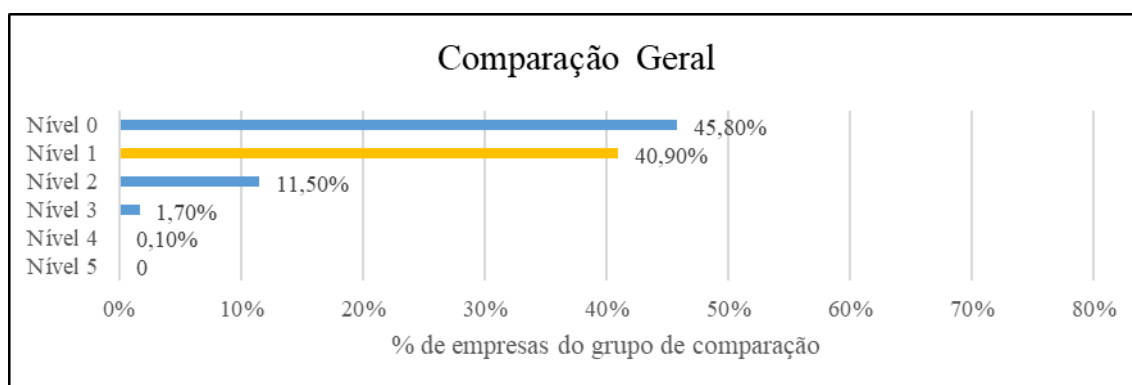
3.2.1 Resultado da Aplicação do Modelo 1

A aplicação foi feita por meio de um sistema eletrônico de avaliação disponível na internet. O preenchimento das questões do sistema de avaliação foi feito com base em

entrevistas com os gestores da empresa, para refletir o estado atual de maneira precisa. Após o preenchimento de todas as questões, o sistema retorna os resultados da avaliação de maturidade, assim como análises para cada uma das dimensões. Para mostrar a colocação da empresa em relação a outras similares que preencheram as questões, as empresas são divididas em grupos de comparação. O grupo de comparação foi o de empresas de manufatura e com 100 a 499 empregados. Apesar de não fornecer a quantidade de empresas no grupo, é mostrada a distribuição das empresas entre os níveis de maturidade em cada dimensão.

Na avaliação geral: a empresa foi ranqueada no nível 1 de maturidade (*Beginner*). A pontuação final foi de 1,458 em 5 pontos possíveis. Para cada dimensão, a avaliação dá o respectivo nível e disponibiliza sugestões para melhoria do nível de maturidade como será mostrado nos próximos tópicos. A Figura 21 mostra a distribuição da quantidade de empresas do grupo de comparação nos níveis de maturidade.

Figura 21 – Comparação nível de maturidade geral (Modelo 4)



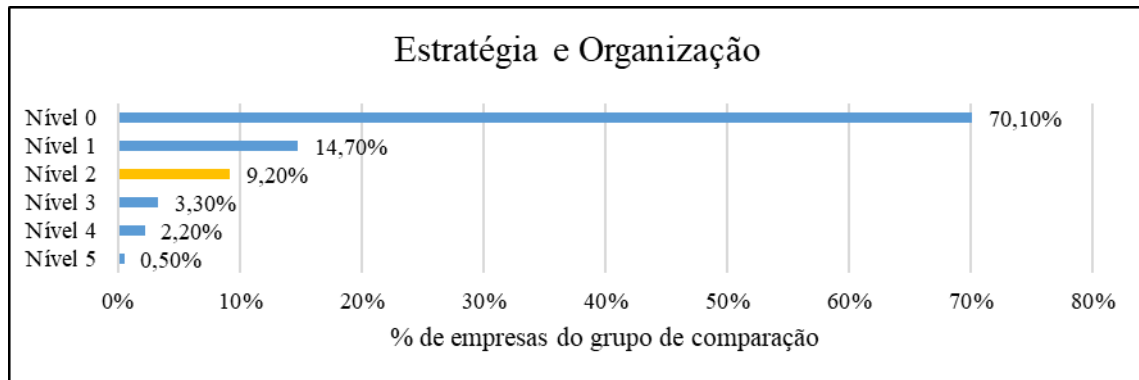
Fonte: O autor (2019)

Estratégia e Organização: nessa dimensão, foi atingido o nível 2 – *Intermediate*. Nesse caso, a avaliação sugere que a Indústria 4.0 já está refletida no processo estratégico ou na estratégia a ser desenvolvida. Devem ser mantidos o desenvolvimento estratégico e a formulação de uma estratégia específica de Indústria 4.0 com medidas de implementação iniciais.

A empresa tem um sistema de indicadores que conseguem demonstrar de alguma maneira o status de implementação da Indústria 4.0. A expansão e integração dos sistemas de indicadores do processo estratégico são os próximos passos. Em relação ao orçamento de investimentos, a empresa está pronta para a Indústria 4.0. Há investimentos em Indústria 4.0 em pelo menos 5 áreas, o que significa a disponibilidade de recursos financeiros importantes

para a implementação bem-sucedida. A gestão de inovação e tecnologia é considerada e uniforme. A Figura 22 mostra a distribuição das empresas nos níveis de maturidade.

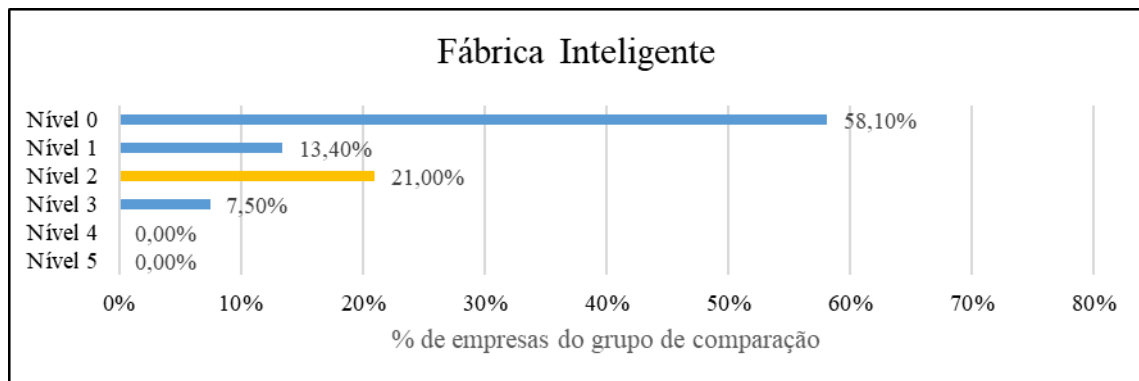
Figura 22 – Comparação nível de maturidade Estratégia e Organização



Fonte: O Autor (2019)

Fábrica Inteligente: também foi atingido o nível 2 – *Intermediate*. É sugerido considerar o potencial de integração dos atuais sistemas na infraestrutura de TI e considerar a possibilidade de integração na compra de novos sistemas. Desenvolver conceitos para projetos pilotos e elaborar uma análise de custo benefício baseada no uso de casos existentes de pesquisa e associações industriais. Os dados coletados pela empresa podem trazer benefícios a partir de parcerias de projetos e pesquisas. Avaliar as tecnologias necessárias para obter mais dados e examinar quais informações podem ser obtidas dos dados já coletados. Identificar o nível máximo de obtenção de dados e criar uma lista priorizando os níveis de informação. Na Figura 23 é mostrada a distribuição das empresas nos níveis de maturidade.

Figura 23 – Comparação nível de maturidade Fábrica Inteligente

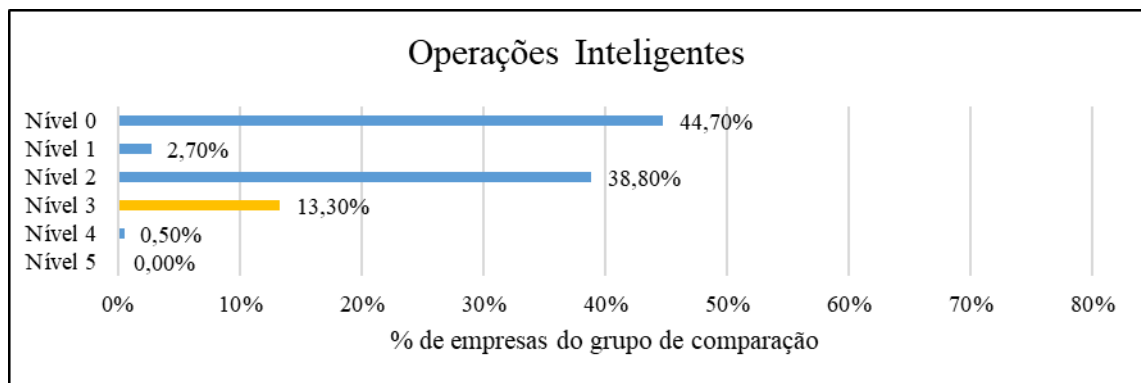


Fonte: O Autor (2019)

Operações Inteligentes: nessa dimensão foi atingido o nível 3 – *Experienced*. O compartilhamento de informação é amplamente integrado ao sistema. Há estudos para o uso de controle autônomo em fase de testes. Deve ser feita uma análise para determinar em quais áreas haverá benefícios com o controle autônomo. Parcerias com outras empresas ou compartilhamento de conhecimento com instituições de pesquisa podem ajudar na definição de novas formas de uso. A empresa não tem ainda nenhum caso no qual processos reagem automaticamente a mudanças. Analisar a produção da empresa para verificar se faz sentido haver processos que reagem automaticamente para confirmar se faz sentido haver processos que reagem automaticamente a mudanças.

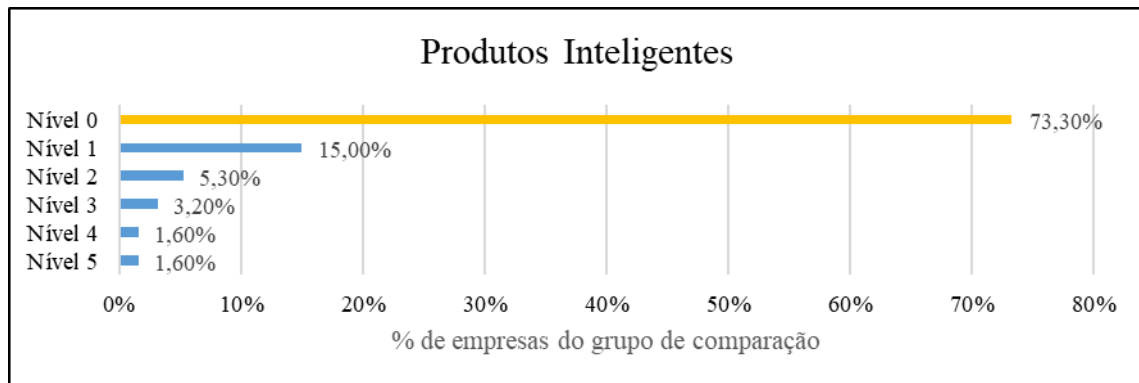
Sobre a segurança cibernética, conceitos já foram implementados e deve ser checado em quais áreas ainda não há solução de segurança de TI implementada e devem ser conduzidas revisões em intervalos regulares para determinar se os conceitos de segurança ainda atendem aos requisitos atuais, o uso da tecnologia de nuvem está em planejamento o compartilhamento dos conhecimentos com outras empresas e instituições de ensino pode ajudar a definir novos usos. A Figura 24 mostra a distribuição das empresas do grupo de comparação nos níveis de maturidade da dimensão.

Figura 24 – Comparação nível de maturidade Operações Inteligentes



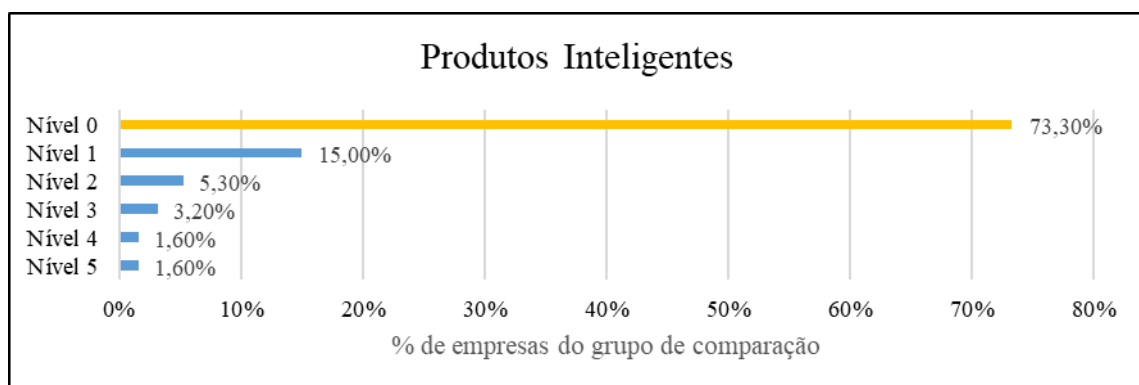
Fonte: O Autor (2019)

Produtos Inteligentes: o resultado para essa dimensão foi o nível 0. O produto da empresa atualmente não possui funcionalidades como memória, auto reporte, integração, localização, sistemas de assistência, monitoramento, informação de objetos ou identificação automática. É importante que os produtos comecem a ser equipados com algumas funcionalidades para depois serem expandidas. A Figura 25 mostra a distribuição das empresas nos níveis de maturidade da dimensão.

Figura 25 – Comparação nível de maturidade Produtos Inteligentes

Fonte: O Autor (2019)

Serviços Dirigidos por Dados: nessa dimensão, foi atingido o nível 0. Infelizmente a empresa ainda não tem nenhuma habilidade na dimensão de serviços dirigidos por dados. Devem ser identificadas as áreas nas quais há potencial no oferecimento de serviços dirigidos por dados. O objetivo primário é de ser a integração dos clientes de modo que possam ser oferecidos serviços melhores e mais personalizados. Não é oferecido nenhum serviço dirigido por dados. Para a implementação bem-sucedida da Indústria 4.0, devem ser feitos investimentos nesse tipo de serviços e estabelecer integração do cliente com a empresa. A Figura 26 apresenta o percentual de empresas distribuídas em um dos níveis de maturidade da dimensão.

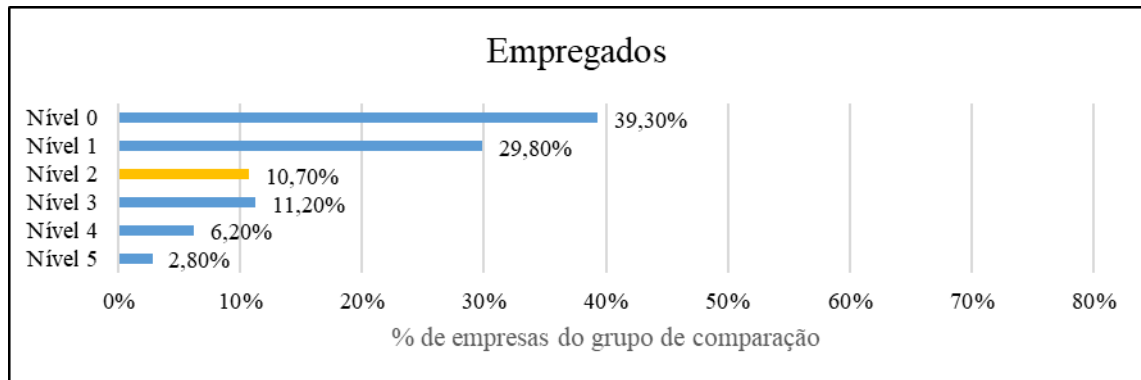
Figura 26 – Comparação nível de maturidade Serviços Dirigidos por Dados

Fonte: O Autor (2019)

Empregados: nessa dimensão foi alcançado o nível 2. Os empregados de algumas áreas da empresa têm as habilidades necessárias para implementar a Indústria 4.0. Por isso é importante expandir e melhorar as habilidades em outras áreas, como a infraestrutura de TI, tecnologia autônoma, análise de dados (*analytics*), segurança de dados e comunicação e

desenvolvimento e aplicação de sistemas de assistência. A Figura 27 apresenta a distribuição das empresas nos níveis de maturidade da dimensão.

Figura 27 – Comparação nível de maturidade Empregados

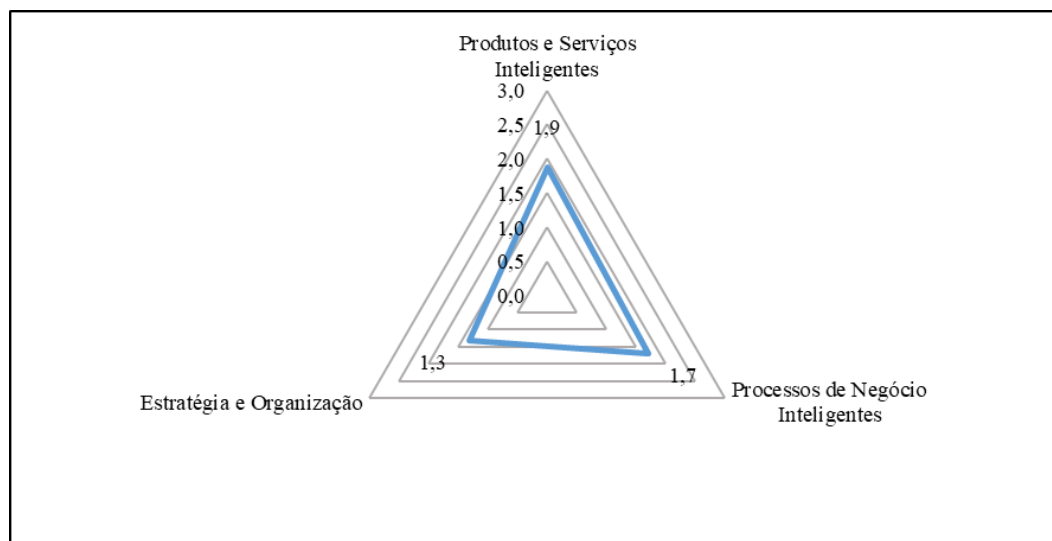


Fonte: O Autor (2019)

3.2.2 Resultado da Aplicação do Modelo 4

A partir do uso das questões disponibilizadas no artigo dos autores (presentes no Anexo B), foi criada uma planilha para o cálculo do nível de maturidade de cada uma das dimensões e sub-dimensões e do nível geral de maturidade. As questões foram preenchidas a partir de informações obtidas com os gerentes responsáveis de cada área responsável. A Figura 28 mostra o gráfico do tipo radar com o resultado da aplicação do questionário. Nas três dimensões a empresa atingiu o Nível 1 – Existência – dessa maneira, a avaliação de maturidade da empresa nesse modelo resultou no segundo nível entre quatro possíveis.

Figura 28 – Resultado Geral Modelo 4



Fonte: O Autor (2019)

É importante notar alguns aspectos observados durante a aplicação do modelo. As perguntas sobre o desenvolvimento de produtos não são aplicáveis ao caso estudado e foram desconsideradas no cálculo da maturidade como orientado pelos autores do modelo. Em algumas questões observou-se um caráter genérico, que induziriam à avaliação errônea. Um exemplo é a questão de número três da dimensão de Produtos e Serviços Inteligentes que pergunta “Até que ponto do ciclo de vida os produtos podem ser rastreados?”. Nesse caso, o tipo de rastreio deveria ser especificado.

Ainda sobre o caráter genérico observado, algumas questões apresentaram opções de respostas que poderiam oferecer mais opções intermediárias, como é o caso da terceira questão do campo de Serviços de Pós-venda – da dimensão de Processos de Negócio Inteligentes – que pergunta “São utilizadas tecnologias digitais (móvel e de virtualização) nos processos dos serviços de pós venda?” podendo ser respondido apenas sim ou não. Para obter uma avaliação mais acurada, as opções poderiam ser o nível (nenhum, baixo, médio e alto) de utilização de tecnologias digitais nos processos de pós-venda. As perguntas relacionadas aos orçamentos e investimentos não fornecem um parâmetro de comparação para avaliar o nível. Essa constatação poderia levar a uma avaliação imprecisa das questões. O Tabela 2 mostra a pontuação de cada uma das quatro questões da dimensão de Produtos e Serviços Inteligentes. Nessa dimensão não há apenas um campo associado, como nas outras duas dimensões.

Tabela 2 – Pontuação de maturidade de Produtos e Serviços Inteligentes

Nº da questão	Pontuação
1	0,75
2	0,75
3	3
4	3
Pontuação de maturidade	1,875

Fonte: O Autor (2019)

A pontuação de maturidade de Produtos e Serviços Inteligentes indica que a empresa tem produtos que são capazes de se comunicar com outros produtos/plataformas, máquinas e sistemas externos e realizar análise descritiva (capturando a condição, operação e ambiente do produto). Há rastreabilidade do produto em todo o seu ciclo de vida, porém não são coletados dados de uso do produto.

Na Tabela 3, são apresentadas as pontuações para a dimensão de Processos de Negócios Inteligentes. Nesse caso, há oito campos associados e as questões são distribuídas por elas. A pontuação de maturidade mostra que a empresa possui processos de cadeia de valores integrados em termos de transferência de dados entre clientes e fornecedores. Há alguns sistemas de software em uso na produção que possuem interface com o sistema principal da empresa. O nível de automação na produção está restrito a algumas máquinas e parcialmente. A personalização na produção é alta. Sob o ponto de vista de gêmeos digitais, não há rastreabilidade em tempo real da operação no meio digital. O uso de tecnologias habilitadoras é limitado e não há desenvolvimento de produtos no caso estudado.

Tabela 3 – Pontuação de maturidade de Processos de Negócios Inteligentes

Nº da questão	Produção, Logística e Compras	P&D – Desenvolvimento de Produtos	Serviços de Pós-Venda	Precificação / Promoção	Vendas e Canais de Distribuição	Recursos Humanos	Tecnologia da Informação	Finança Inteligente
1	0,750	N/A	2,333	2,625	2,000	2,250	3	3
2	2,000	N/A	1	0,000	3,000	3,000	0	3
3	0,750	N/A	0	0,000	3,000	3,000	0	3
4	3,000	N/A		0,000	N/A		1,5	1
5	2,063	N/A		3,000	2,000			1,5
6	2,000				3,000			
7	1,200				0,000			
8	1,000							
9	0,000							
10	1,250							
Campo associado	1,401	N/A	1,111	1,125	2,167	2,750	1,125	2,300
Pontuação Geral	1,711							

Fonte: O Autor (2019)

Na Tabela 4, são apresentadas as pontuações da dimensão de Estratégia e Organização. Nessa dimensão, são quatro campos associados com questões distribuídas por elas. A pontuação de maturidade mostra que os produtos e serviços não são compatíveis com o modelo de negócio digital que é suportado com baixo nível de recursos. O modelo de negócio “*as-a-service*” foi implementado e está sendo oferecido ao consumidor, porém na unidade de negócio não há monetização de novos serviços dirigidos por dados. A estratégia para a Indústria 4.0 está em desenvolvimento e há um sistema de indicadores que dão alguma orientação. A empresa aloca um baixo nível de investimentos em algumas operações funcionais e são feitas análises anuais do custo benefício dos investimentos. Há funcionários em áreas com foco tecnológico que

possuem funcionários com algumas habilidades digitais. O departamento de TI é central, porém não possuem um ambiente de trabalho para trabalhar em conjunto com a TO – Tecnologia Operacional. Os departamentos estão abertos a colaboração entre toda a empresa, há equipes de projeto multidisciplinares e a equipe de liderança reconhece os benefícios financeiros a serem obtidos por meio da Indústria 4.0.

Tabela 4 – Pontuação de maturidade de Estratégia e Organização

Nº da questão	Modelos de Negócios	Parcerias Estratégicas	Investimentos em Tecnologias	Estrutura e Liderança Organizacional
1	0,000	0,750	0,750	3,000
2	3,000	1,200	1,000	0,000
3	1,000	1,500	2,000	1,000
4	3,000		1,313	0,000
5	0,000		3,000	1,000
6				3,000
7				1,000
8				2,000
9				0,000
10				0,000
Campo Associado	1,400	1,150	1,613	1,100
Pontuação de maturidade	1,316			

Fonte: O Autor (2019)

Durante a aplicação do modelo, foi necessário esclarecer o que é um modelo de negócio digital. O conceito de Weill e Woerner (2013) tem três componentes: conteúdo, experiência do cliente e plataforma. Para facilitar o entendimento, a empresa Amazon pode ser tomada como exemplo. O conteúdo da Amazon – o que é consumido – inclui produtos digitais como filmes e softwares, assim como informações sobre produtos físicos negociados pela empresa. A experiência do cliente engloba como é ser um consumidor digital da empresa, seja comprando produtos digitais ou físicos. Ela inclui o website da Amazon e os processos digitais que atingem o cliente, como o carrinho de compras, opções de pagamentos, mensagens, alerta de entregas, entre outros. A experiência também inclui o conteúdo criado pelos clientes como avaliações, opiniões assim como ferramentas de busca sofisticadas, histórico de compras e recomendações. Já a plataforma consiste em um conjunto coerente de processos de negócios digitais, dados e infraestrutura. A plataforma tem componentes internos e externos que podem entregar conteúdo digital para o consumidor. Na Amazon, as plataformas internas incluem dados de consumidor e todos os processos que não atingem o consumidor, como análise de clientes, recursos humanos, finanças e propaganda.

Os resultados da aplicação dos modelos mostraram aspectos não observáveis na análise pura dos modelos: houve dúvidas em relação aos termos usados quando perguntados aos pontos focais da empresa. E como mostrado nos resultados da aplicação do modelo 4, algumas perguntas precisam ser reformuladas para obter facilidade e acurácia na avaliação. O modelo 1 apresenta menor número de questões e apresenta um resultado mais genérico como resultado, porém possui maior quantidade de dimensões quando comparado ao modelo 4, o que permite facilidade na análise de desempenho e planejamento estratégico. A maior quantidade de níveis de maturidade também é válida como uma forma de facilitar a análise de desempenho pelos gestores da empresa.

3.2.3 Análise Comparativa dos Modelos Existentes

Para comparar as características dos modelos, será utilizado o método AHP¹² ou análise multicritério. A escolha do método de comparação se deu pelo fato de os critérios para comparação serem subjetivos, de difícil quantificação, mas hierarquizáveis. Dessa maneira, a metodologia para comparação consistirá nas seguintes etapas:

1. Definição explícita dos critérios
2. Determinação da importância relativa de cada critério
3. Avaliação dos critérios para cada alternativa
4. Valoração global de cada alternativa

Os critérios foram definidos a partir das necessidades observadas pelo autor com base no planejamento de uso do modelo no caso estudado. Critério 1 é o formato de divisão em blocos (dimensões ou áreas estruturais). Nele será avaliado se a quantidade de blocos está em quantidade e nível de descrição suficientes para facilitar o entendimento e dar uma visão detalhada para os tomadores de decisão.

Critério 2: é o nível de detalhamento das perguntas. Para esse critério deve-se avaliar a que nível de detalhamento as perguntas chegam. Não deve ser muito profundo para não afetar o tempo de aplicação, porém o detalhamento superficial pode diminuir a acurácia da avaliação.

Critério 3: é o formato de divisão dos níveis de maturidade. Nesse critério deve ser levado em conta que ter poucos níveis de maturidade leva a ter grandes saltos de um nível para outro, o que pode diminuir a impressão de melhoria após aplicação de novas tecnologias e desenvolvimento de novos projetos na empresa. Por exemplo, caso seja aplicado o modelo em um ano e após dois anos seja aplicado novamente, se houver poucos níveis, será mais difícil o

¹² *Analytic Hierarchy Process*

salto de um nível para o outro, mesmo com mudanças significativas na empresa. Portanto, devem existir mais níveis e cada um deles devem ter requisitos explicativos.

Critério 4: é a adaptabilidade. Nesse critério é levada em consideração como o modelo pode ser adaptado para uma realidade diferente. Para facilitar a adaptação, o modelo não deverá ter pesos para determinar as pontuações dos blocos e as perguntas podem ser deixadas em branco sem prejuízo à avaliação da maturidade.

Critério 5: é a facilidade de aplicação. Nesse caso, os outros aspectos têm influência sobre esse critério, pois um modelo com uma quantidade excessiva de questões ou de blocos dificulta a aplicação, assim como a falta de um questionário pronto – algo que ocorre no Modelo 3. Além disso, a disponibilidade do questionário e a automatização do cálculo de maturidade como ocorre no Modelo 1 auxilia a facilidade de aplicação.

A determinação da importância relativa de cada critério e a avaliação dos critérios para cada alternativa terá como base a escala de julgamento do Quadro 7 abaixo:

Quadro 7 – Escala de julgamentos do AHP

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância fraca de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Importância forte	O julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida em relação à outra
9	Importância absoluta	A dominância de uma atividade em relação à outra é do mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores Intermediários entre dois julgamentos	Quando é necessária uma condição de compromisso
Recíprocos	Mostra as relações inversas	

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2012)

A partir do Quadro 7 e dos cinco critérios descritos, foi desenvolvida a Tabela 1 para determinar a importância relativa de cada critério. A importância relativa é calculada a partir da média geométrica de cada um dos critérios, que será dividida pelo total da soma dos vetores de prioridades como mostrado nas Equações (5) e (6), onde VE_j é o vetor de prioridade do critério j , C_j é o valor da avaliação relativa do critério j , p_j é a importância relativa do critério j e VEs é a soma dos dos vetores de prioridade.

$$VE_j = \sqrt[j]{C_1 \times C_2 \times \dots \times C_j} \quad (5)$$

$$p_j = \frac{VE_j}{VES} \quad (6)$$

Tabela 5 – Avaliação dos critérios para a importância relativa

Critérios (Cj)	1	2	3	4	5	Vetor de prioridade (VEj)	Importância Relativa (pj)
1	1	1/3	3	1/5	2	0,83	13,19%
2	3	1	5	1/2	1	1,50	23,71%
3	1/3	1/5	1	1/6	1/2	0,35	5,61%
4	5	2	6	1	3	2,83	44,77%
5	1/2	1	2	1/3	1	0,80	12,72%
Soma (s)	9,83	4,53	17,00	2,20	7,50	6,31	100,00%

Fonte: O Autor (2019)

Com a relevância relativa de cada critério, foi montada a que mostra o valor global para cada alternativa. O valor dado para cada critério está em uma escala de 1 a 9 como no Quadro 7. A Equação (7) define a forma de cálculo do valor global para cada alternativa a partir da avaliação de cada critério.

Tabela 6 – Valor global comparação entre modelos de maturidade

		Critérios (Cj)					Valor global (V)
		1	2	3	4	5	
Alternativas (a)	Modelo 1	9	3	9	3	9	4,89
	Modelo 2	7	8	4	5	4	5,79
	Modelo 3	9	6	9	7	3	6,63
	Modelo 4	4	9	5	9	7	7,86

Fonte: O Autor (2019)

$$V(a) = \sum_{j=1}^n p_j c_j \quad (7)$$

Com os resultados dos valores globais e da avaliação dos critérios, observa-se que os modelos 1 e 3 destacam-se no seu formato de divisão em blocos (Critério 1), apesar de fazerem isso de maneira distinta. No Modelo 1 são definidas seis dimensões com descrição detalhada, enquanto no Modelo 3 são definidas quatro áreas estruturais que são analisadas em cinco áreas funcionais também detalhadamente descritas. O Modelo 4 possui três dimensões descritas de maneira superficial.

Sob o ponto de vista do Critério 2, nível de detalhamento das perguntas, os Modelos 4 e 2 são os líderes, pois ambos possuem grande número de perguntas para a avaliação e consequentemente podem trazer perguntas mais detalhadas sobre a situação da empresa. O modelo 1 é um destaque negativo pois possui menor número questões, mostrando ser um modelo mais superficial. O Modelo 3 por não possuir um questionário feito pelos autores, deixa o detalhamento das perguntas à escolha do aplicador do modelo e por isso fica em um nível intermediário.

Para o Critério 3, formato de divisão dos níveis de maturidade, os Modelos 1 e 3 são os que obtiveram melhor avaliação dividirem a maturidade em seis níveis detalhadamente explicados. A explicação para os cinco níveis de maturidade do Modelo 2 é demasiadamente superficial e o Modelo 4 apesar de apresentar explicação detalhada para cada nível, define apenas quatro níveis.

Observando as avaliações das alternativas no Critério 4, a adaptabilidade, nota-se que os modelos 3 e 4 possuem as maiores notas. O Modelo 4 possui a melhor adaptabilidade pois não determina peso para as suas perguntas o que permite excluir ou incluir perguntas compatíveis com a avaliação proposta. O Modelo 3 não possui perguntas definidas, o que facilita a adaptabilidade, porém não foi pensado como sendo um modelo adaptável, o que o torna restrito à realidade para qual foi criado. O Modelo 2 não prevê adaptabilidade e apesar de o questionário dos autores não ser acessível, há um modelo a ser seguido. O Modelo 1 é o que encontra mais barreiras para a adaptabilidade, pois o cálculo da maturidade é baseado na importância relativa de cada dimensão que foi determinada a partir da aplicação dos questionários em um certo número de empresas.

O Critério 5, a facilidade de aplicação, também é produto dos outros critérios e, observando a avaliação desse critério, percebe-se que o Modelo 1 é o de mais fácil aplicação por possuir um formulário online no qual a avaliação pode ser feita em questão de minutos e o resultado é dado instantaneamente ao fim do preenchimento. O modelo 4 não possui formulários online, mas disponibiliza o questionário completo. Ainda sobre o Modelo 4, algumas perguntas deveriam ter melhor explicação para avaliação pois não seguem um padrão como indicado para o Modelo 3 ou o Modelo 2. O modelo 3 tem a pior avaliação por não possuir um questionário pronto, obrigando o aplicador a desenvolver as próprias questões.

3.3 Modelo Adaptado Proposto

A partir dos resultados da aplicação dos Modelos 1 e 4 e da análise dos Modelos 3 e 4, e do comparativo entre os modelos selecionados, as características do modelo proposto serão divididas em:

- Dimensões
- Níveis de maturidade
- Questionário

Foram definidas cinco dimensões, seis níveis de maturidade e 64 questões distribuídas pelas dimensões. Todas as características serão detalhadas nessa seção e a forma de análise do modelo será abordada na seção de aplicação do modelo adaptado. Os resultados da comparação entre os modelos existentes indicaram que o Modelo 4 é o que melhor se adequa como base para a adaptação e os pontos positivos dos outros modelos serão o guia para as modificações, assim como as características do caso.

Para o cálculo da maturidade das dimensões e da empresa como um todo, serão utilizadas as Equações (7) e (8) nas quais M é a maturidade, D é dimensão, Q é a avaliação atribuída a cada questão, m é o número de questões, n é o número de dimensões e G é usado para se referir à empresa como um todo.

$$M_{Dj} = \sum_{i=1}^m \frac{Q_{Di}}{m} \quad (7)$$

$$M_G = \sum_{j=1}^n \frac{M_{Dj}}{n} \quad (8)$$

3.3.1.1. Dimensões

Para determinar as dimensões do novo modelo, primeiro foi notada a pouca eficiência das somente três dimensões determinadas no Modelo 4. A menor eficiência pode ser vista quando se considera uma análise com o objetivo de desenvolver a maturidade de cada dimensão, pois não é possível determinar com clareza quais áreas precisam de mais atenção para obter melhores resultados. Portanto, a partir da análise dos outros modelos e debate com a equipe da empresa, foram determinadas cinco dimensões baseadas nas dimensões e campos associados do Modelo 4 para o novo modelo como mostrado no Quadro 8.

A decisão de transformar a dimensão de processos de Negócio Inteligente em outras três dimensões levou em consideração, também, a estrutura organizacional da empresa. No Modelo 4, há divisão das perguntas entre os campos associados, algo que foi eliminado, para diminuir a complexidade na organização das perguntas. Após o Quadro 8, serão expostas as alterações feitas.

Quadro 8 – Dimensões e campos associados do modelo 4 x modelo proposto

Dimensões e campos associados originais Modelo 4	Dimensões e campos associados propostos baseado na cadeia de valor da empresa
Produtos e Serviços Inteligentes -Produtos e Serviços Inteligentes	Produtos e Serviços Inteligentes -Produtos e Serviços Inteligentes
Processos de Negócio inteligentes -Produção, Logística e Compras -P&D – Desenvolvimento de produto -Serviço de pós-venda -Precificação/Promoção -Canais de venda e distribuição -Recursos Humanos -Tecnologias da Informação -Finança Inteligente	Produção Inteligente -Produção, Logística e Compras
	Operação Inteligente -Promoção -Canais de venda e distribuição -Tecnologias da Informação -Finança Inteligente
	Cultura e Empregados -Recursos Humanos
Estratégia e Organização -Modelos de Negócios -Parcerias Estratégicas -Investimentos em Tecnologia -Estrutura Organizacional e Liderança	Estratégia e Organização -Modelos de Negócios -Parcerias Estratégicas -Investimentos em Tecnologia -Estrutura Organizacional

Fonte: O Autor (2019)

A dimensão de Processos de negócios Inteligentes foi dividida em outras três, entre as quais foram distribuídos os campos associados originais. Nesse processo, foi eliminado o campo associado P&D - Desenvolvimento de produto, o campo Serviços de pós-venda foi integrado à dimensão Produtos e Serviços Inteligentes e Precificação/Promoção foi alterado para apenas Promoção, visto que a precificação não é aplicável ao caso estudado. O campo de Estrutura Organizacional e Liderança teve a parte da Liderança transferida para o campo Recursos Humanos. A seguir será detalhada cada dimensão.

Estratégia e Organização: nessa dimensão são avaliados aspectos relativos à estratégia escolhida, como se organiza a empresa em relação à Indústria 4.0. São quatro campos associados à essa dimensão, sendo que o primeiro requisito se refere aos de Modelos de Negócios. Nesse campo é avaliado se os produtos e serviços existentes são condizentes com modelos de inovação digital e qual o nível de recursos alocados para o modelo de negócio digital. Além disso, avalia-se se o nível de conhecimento sobre o modelo de negócio “*as-a-service*” e se o modelo de negócio é reavaliado a partir de mudanças tecnológicas. O campo associado de Parcerias Estratégicas avalia a existência de parcerias para projetos em Indústria 4.0, o status de implementação e o uso de indicadores para rastrear o status de implementação. Para o campo Investimentos em Tecnologias, avalia-se quais tecnologias são usadas na empresa, qual o nível e o custo benefício dos investimentos. Por fim, o campo de Estrutura Organizacional avalia a que nível a empresa possui uma estrutura voltada para dados.

Operação Inteligente: nessa dimensão são avaliados quatro campos associados. Os campos Promoção e Canais de venda e distribuição abordam se a promoção com os clientes é realizada a partir de dados de compras e uso, se há análise de dados de clientes para determinar segmentação de consumidor, gestão de campanhas e outras atividades. Além disso, verifica se há integração das campanhas com outros sistemas e qual o suporte da equipe de vendas (considerando produtos, serviços digitais e acesso em tempo real aos sistemas). O campo de Tecnologias da Informação avalia as soluções de segurança de TI, o nível de utilização de sistemas de nuvem e a utilização de painéis de controle, além de definir a que nível a infraestrutura de equipamentos suporta funcionalidades como o controle, comunicação e interoperabilidade de sistemas e máquinas. O último campo, Finança Inteligente, procura saber se há cálculo de custos em tempo real, análise de fluxo de caixa por base histórica, utilização de dados financeiros para tomada de decisão, automatização de sistemas financeiros e medição de risco financeiro potencial.

Produtos e Serviços Inteligentes: essa dimensão possui apenas um campo associado de mesmo nome. Ele avalia as funcionalidades dos produtos da empresa, o nível de rastreamento dos produtos durante o ciclo de vida, para quem são oferecidos serviços e conhecimentos obtidos através dos dados de uso do produto, os benefícios dos dados coletados dos serviços de pós-venda.

Produção Inteligente: nessa dimensão também existe apenas um campo associado, porém ele descreve três partes diferentes da produção – Produção, Logística e Compras. O campo avalia a utilização e integração dos sistemas de produção utilizados na empresa, a integração da cadeia de suprimentos, a automatização dos equipamentos de produção a nível de máquinas, coleta e utilização de dados provenientes de máquinas, processos e produtos, visibilidade da cadeia de valor, nível de rastreabilidade em tempo real da operação e por fim o uso de tecnologias nas áreas de produção, logística e compras.

Cultura e empregados: considera o campo associado Recursos Humanos, que avalia o nível de interdisciplinaridade das equipes de projeto, a coleta e análise de dados de áreas de recursos humanos, o nível de compartilhamento de dados em tempo real para os funcionários em campo, a possibilidade de treinamento em ambiente virtual, as habilidades em Indústria 4.0 dos empregados, a organização da TI, o nível de colaboração entre os departamentos e o nível de suporte dado pela liderança, além de avaliar a organização da equipe de Indústria 4.0 para projetos de inovação..

3.3.1.2. Níveis de maturidade

Serão seis níveis de maturidade numerados de 0 a 5 como no Modelo 1 – que possui similaridades com o Modelo 3. A nomenclatura e a explicação seguirão as do Modelo 1, como mostrado no tópico 2.3. Modelos de Maturidade. A descrição dos níveis também seguirá o do Modelo 1, por ser condizente com as dimensões definidas.

3.3.1.3. Questionário

Para adaptar o questionário, foi levado em consideração que o Modelo 3 sugere perguntas feitas de modo mostrar opções análogas aos níveis de maturidade, como mostrado no Quadro 5. Assim, além de as perguntas do questionário do Modelo 4 serem redistribuídas entre as novas dimensões definidas, a maior parte das perguntas foram modificadas para seguir a sugestão do Modelo 3 na criação das perguntas. Um exemplo dessa mudança pode ser visto no Quadro 9 a seguir.

Quadro 9 – Exemplo de adaptação de perguntas

Pergunta original do Modelo 4:						
1. Os produtos e serviços existentes são condizentes com modelos de negócio de inovação digital (WEILL e WOERNER, 2013)?						
(x) Não () Sim						
Pergunta Modelo Adaptado:						
1. Em qual nível os produtos e serviços existentes estão condizentes com modelos de inovação digital (WEILL e WOERNER, 2013)?						
Não condizente	() 0	() 1	(x) 2	() 3	() 4	() 5
						Condizente

Fonte: O Autor (2019)

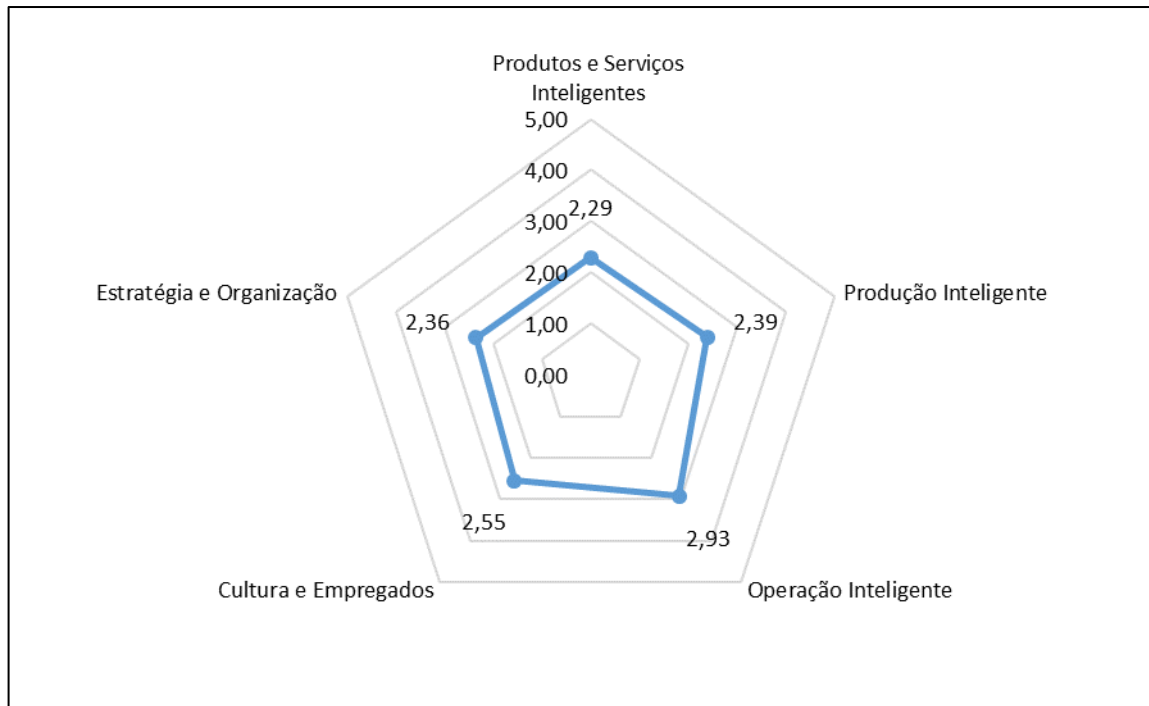
Assim, as questões originadas do Modelo 4 foram redistribuídas entre as novas dimensões com o intuito de torná-las mais homogêneas em quantidade de questões e melhorar a compreensão sobre cada uma delas. O Apêndice A mostra todas as questões da forma como foram divididas na planilha Excel desenvolvida para facilitar o controle da pontuação das dimensões.

3.4 Aplicação do Modelo Proposto

A aplicação do modelo adaptado mostrou que o valor da maturidade geral da empresa é 2,50 – nível Intermediário – e que as cinco dimensões obtiveram as pontuações como mostrado na Figura 29. Pelo fato de os Modelos 1 e 4 já terem sido aplicados anteriormente, a aplicação

do novo modelo tornou-se mais simples, especialmente se for considerada a equivalência com as questões do Modelo 4. A seguir serão apresentados os resultados da aplicação do modelo proposto.

Figura 29 – Resultados da aplicação do Modelo Adaptado



Fonte: O Autor (2019)

Produtos e Serviços Inteligentes: a pontuação de 2,29 foi decorrente de características dos produtos e serviços da empresa. Os produtos coletam dados do ambiente e outros sistemas, mas realizam apenas análise descritiva, na qual capturam a condição, operação e ambiente do produto. Além disso, os produtos podem ser rastreados em todo o seu ciclo de vida. Os serviços e conhecimentos obtidos através dos dados de uso obtidos pelos produtos são oferecidos para parceiros e a empresa se beneficia de várias maneiras a partir dos dados coletados dos serviços de pós-venda. A análise de dados e outras tecnologias são utilizadas no serviço de pós-venda para a assistência em tempo real para problemas e falhas e para a previsão de entrega.

Produção Inteligente: são utilizados sete tipos sistemas para a produção (MES, ERP, PDM¹³, PPS¹⁴, PDA¹⁵, SCM¹⁶), porém apenas dois deles (ERP e SCM) possuem interface com

¹³ PDM (*Production Data Management*) é um sistema para gestão de dados obtidos durante a produção.

¹⁴ PPS (*Production Plannign System*) é um sistema para o planejamento de produção

¹⁵ PDA (*Production Data Acquisition*) é um sistema para adquirir dados da produção.

¹⁶ SCM (*Supply Chain Management*) é um sistema para a gestão da cadeia de valor.

o sistema principal utilizado pela empresa. A integração da cadeia de suprimentos é intermediária – há transferência de dados entre fornecedores e clientes. Os equipamentos de produção a nível de máquinas têm automatização muito baixa enquanto a personalização na produção atinge o nível máximo (no MRO, cada motor terá características de desgaste diferentes). Dos oito tipos de dados sobre maquinários, processos e produtos, todos são coletados, porém em apenas três deles o processo ocorre automaticamente. Os dados coletados são usados para manutenção preditiva, otimização de logística e processos de produção, gestão da qualidade e otimização de consumo de recursos. Na área de logística e compras, os dados são usados para a detecção antecipada de falhas do fornecedor e para o desenvolvimento de *Scorecards* de fornecedores, objetivos e acompanhamento de melhoria. A cadeia de valor possui visibilidade baixa, com a primeira camada de fornecedores e clientes podendo visualizar o local do site, o inventário e as operações da empresa. Por fim, não é utilizado o conceito de gêmeos-digitais¹⁷ e os níveis de utilização de tecnologias virtual e móvel, manufatura aditiva e robôs adaptativos e colaborativos são, respectivamente, médio, baixo e nenhum.

Operação Inteligente: a partir da análise de dados de clientes são conduzidos estudos de segmentação de consumidor, valor do tempo de vida para o cliente, vendas cruzadas, gestão de campanha, análise de agrupamento de mercado, recomendação de produto e análise de movimentação do cliente. Não são geradas campanhas de vendas a partir de dados de compras e uso, mas há análise de performance para elas. A equipe de vendas é suportada com produtos e serviços digitais e acesso em tempo real ao sistema em nível médio. A rentabilidade é analisada em tempo real e é usado um sistema de gestão de performance automatizado e em tempo real para a força de vendas local. São usados canais integrados para gerenciamento da interação com clientes a um nível médio. Os parceiros de negócio estão em colaboração para atingir clientes. As soluções de segurança de TI estão todas implementadas, porém não há previsão de uso de sistemas de nuvem para as áreas da empresa. Além disso, não há painéis de TI utilizados para rastreabilidade dos processos da empresa. A infraestrutura de equipamentos possui funcionalidades, como controle por sistemas de TI, comunicação entre máquinas e interoperabilidade com outras máquinas, disponíveis até certo ponto. Os dados obtidos da linha de produção são utilizados para os cálculos dos custos em tempo real. Os sistemas financeiros são automatizados em um nível baixo assim como a frequência de medição do risco financeiro

¹⁷ Gêmeos digitais ou *digital-twins* são cópias digitais de sistemas físicos. Foram criados a partir da simulação e tecnologias de virtualização em conjunto com os princípios de virtualização e gerenciamento em tempo real.

potencial, porém o fluxo de caixa e investimentos são feitos em uma base histórica e os dados financeiros são sempre usados na tomada de decisão de investimento.

Cultura e Empregados: as equipes de projeto possuem alto nível de interdisciplinaridade assim como o nível de compartilhamento de dados em tempo real para os funcionários em campo. Há coleta e análise de dados para a análise de capacidade¹⁸, de competências¹⁹, de rotatividade de empregados²⁰, de cultura corporativa²¹, do canal de recrutamento²² e da performance de funcionários²³. Para as tarefas operacionais, os funcionários ainda não são treinados em ambiente virtual e não são treinados para a transformação digital na empresa. Apenas áreas com foco tecnológico possuem empregados com algumas habilidades digitais e a equipe de Indústria 4.0 não possui funcionários para a execução de projetos de inovação. As unidades de TI e TO não possuem um ambiente para trabalho em conjunto e a TI é organizada como um departamento central.

Estratégia e Organização: os produtos e serviços existentes são pouco condizentes com modelos de inovação digital, o modelo de negócio “*as-a-service*” é compreendido e já foi implementado. O nível de recursos alocados para o modelo de negócio digital é baixo, mas o modelo de negócios da empresa é reavaliado durante o seu período de vigência. Os serviços dirigidos por dados não são monetizados e a empresa possui parcerias para projetos de indústria 4.0 apenas com universidades. A estratégia de implementação da Indústria 4.0 está em desenvolvimento e o sistema de indicadores para rastrear o status de sua implementação dá alguma orientação, mas ainda precisa de ajustes para se tornar apropriado. A empresa utiliza poucas das tecnologias disponíveis para a Indústria 4.0. Os investimentos para a indústria considerando os investimentos do site são baixos, a análise de custo benefício dos investimentos é feita anualmente, em quase todas as áreas há planejamento de investimento em Indústria 4.0, porém apenas em metade delas já houve investimento. Não há estrutura organizacional dirigida por dados (cientista de dados, equipe de análise, diretor de transformação digital, entre outros).

Apesar de ter alcançado o nível Intermediário de maturidade, o aumento da pontuação nas dimensões implicará na implementação de projetos de custo elevado para a empresa. O

¹⁸ Analisar a eficiência operacional das pessoas no negócio.

¹⁹ Analisar a forma como a empresa adquire as competências desejáveis.

²⁰ Analisar a rotatividade de empregados, com o intuito de diminuí-la.

²¹ Analisar e compreender a cultura corporativa ou as diferentes culturas dentro da empresa.

²² Analisar de onde vêm os melhores funcionários e os canais de recrutamento mais eficientes.

²³ Analisar a performance individual do funcionário.

Apêndice B mostra uma tabela todos os pontos de melhoria para se atingir a maturidade máxima. Nela ainda são considerados três critérios para a priorização dos pontos de melhoria:

- Nível de autonomia: pontua de zero a cinco o nível de autonomia da empresa tanto em relação ao site como em relação à matriz como em relação a clientes e fornecedores.
- Facilidade de implementação: pontua de zero a cinco a facilidade de implementação do ponto de melhoria, considerando o custo, o tempo e os recursos utilizados para implementação.
- Fator de impacto na maturidade da dimensão: é calculado a partir das notas de cada uma das questões que não atingiram nota máxima de maturidade. A Equação 9 representa o cálculo para o fator de impacto relacionado a uma pergunta de uma das dimensões, onde P_n representa a pontuação atingida na questão n e N representa a quantidade de questões da dimensão.

$$f_n = \frac{5 - P_n}{N} \quad (9)$$

Com os critérios, a Equação 10 mostra como é calculada a pontuação para cada um dos pontos de melhoria, onde C_1 é o nível de autonomia, C_2 é a facilidade de implementação e C_3 é o fator de impacto.

$$P = C_1 \times C_2 \times C_3 \quad (10)$$

Com a pontuação de todos os pontos de melhoria do Apêndice B, o Quadro 10 mostra para cada dimensão os dois pontos de melhoria com a maior pontuação em cada dimensão. O critério de desempate para os pontos de melhoria que atingiram a mesma pontuação leva em conta primeiro o maior nível de autonomia, depois a maior facilidade de implementação e por fim o maior fator de impacto.

Quadro 10 – Pontos de melhoria com a maior pontuação em cada dimensão

Pontos de melhoria com as duas maiores pontuações em cada dimensão	
Produtos e Serviços Inteligentes	6. Utilizar tecnologias móveis e de virtualização nos processos de serviço de pós-venda.
	4. Aumentar a quantidade de benefícios obtidos para a empresa a partir dos dados coletados dos serviços de pós-venda.

Produção inteligente	4. Aumentar automatização da coleta de dados sobre maquinários, processos e produtos.
	1. Aumentar quantidade de sistemas de produção com interface com o sistema principal da empresa.
Operação Inteligente	10. Utilizar painéis de controle de TI para rastrear processos.
	3. Integrar o sistema de gestão de campanha aos outros sistemas
Cultura e Empregados	5. Treinar todos os funcionários em relação à transformação digital
	9. Formar equipe de Indústria 4.0 focada em projetos de inovação.
Estratégia e Organização	6. Estabelecer indicadores apropriados para rastreamento do status de implementação da Indústria 4.0.
	10. Distribuir nível de investimentos em indústria 4.0 em cada área

Fonte: O Autor (2019)

4 RESULTADOS

Para comparar o Modelo Adaptado aos outros modelos analisados, o método AHP será aplicado da mesma maneira que foi utilizado no Capítulo 3 para a seleção do melhor modelo para base da adaptação. Para facilitar a comparação, os critérios e pesos apontados serão os mesmos. A Tabela 7 mostra o valor global atingido pelo Modelo Adaptado (M. A.) quando comparado aos outros modelos.

Os resultados para os valores globais mostram que o modelo adaptado agregou as melhores características dos modelos analisados. A exceção é a facilidade de aplicação que não alcançou o nível determinado pelo Modelo 1. O motivo para isso é a falta de uma plataforma de aplicação online do modelo, característica que, se aplicada na adaptação, ultrapassaria o escopo do presente trabalho. O Quadro 11 mostra os principais pontos positivos de cada modelo analisado que foram incorporados ao Modelo Adaptado.

Tabela 7 – Valor global comparação com o Modelo Adaptado

		Critérios (Cj)					Valor global (V)
		1	2	3	4	5	
Alternativas (a)	Modelo 1	9	3	9	3	9	4,89
	Modelo 2	7	8	4	5	4	5,79
	Modelo 3	9	6	9	7	3	6,63
	Modelo 4	4	9	5	9	7	7,86
	M. A.	9	9	9	9	7	8,75

Fonte: O Autor (2019)

Quadro 11 – Pontos positivos incorporados ao Modelo Adaptado

Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Formato de divisão em blocos;	Forma de pontuação final;	Formato das perguntas;	Questionário; Sub-dimensões;

Fonte: O Autor (2019).

Ao comparar a aplicação dos Modelos 1 e 4 com a do Modelo Adaptado são observadas diferenças consideráveis entre os resultados. Por ser um modelo com questões em menor quantidade e mais superficiais e foco na manufatura, a pontuação obtida no Modelo 1 colocou a empresa avaliada em uma posição inferior no nível de maturidade em relação ao Modelo Adaptado (a comparação entre eles pode ser feita pelo fato de os níveis de maturidade serem congruentes). Em relação ao Modelo 4, a diferença de pontuação precisa ser analisada com atenção, pois é necessário verificar a equivalência entre os níveis de maturidade. Ao realizar essa operação, a equivalência da pontuação obtida no Modelo 4 – 1,3 – seria atualizada para 2,16 considerando uma nota de variando de 0 a 5 ao invés de 0 a 3. Assim, observa-se que a pontuação é similar à encontrada no Modelo Adaptado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inserção de uma empresa na Indústria 4.0 não é algo corriqueiro e tão pouco irrelevante para as empresas que pretendem manter ou aumentar o seu nível de competitividade. A aplicação das tecnologias habilitadoras, assim como o uso dos princípios de implementação formam a base necessária para o desenvolvimento de soluções que fazem parte da Revolução Digital. Avaliar o quanto a empresa está alinhada com essas soluções – realizar a avaliação da

maturidade em Indústria 4.0 – é importante. Para empresas de manufatura o uso dos modelos de maturidade existentes já é suficiente para avaliar a maturidade, porém a falta de uma referência que consiga avaliar todas as características do MRO e da empresa estudada mostrou que a adaptação de um modelo para avaliação de maturidade deveria tornar-se o foco desse trabalho.

Para a adaptação, foi necessário compreender o relacionamento entre os as tecnologias habilitadoras, os princípios de aplicação da Indústria 4.0 e os modelos de maturidade. Além disso, selecionou-se quatro modelos de maturidade existentes para então serem comparados por critérios definidos para a adaptação para escolher qual seria o melhor como base para a adaptação. O comparativo permitiu obter pontos positivos de cada modelo e utilizar esses pontos no desenvolvimento do Modelo Adaptado. A adaptação ocorreu com base no Modelo 4 que obteve melhor pontuação. As três dimensões originais do Modelo 4 foram transformadas em cinco como mostrado no Quadro 8, enquanto que os níveis de maturidade foram modificados para ficarem análogos aos do Modelo 1, como exposto na Figura 12. O questionário do modelo adaptado utilizou as questões do Modelo 4, porém adaptadas para um formato similar ao do Modelo 3, cujos níveis de maturidade são análogos às opções de resposta.

Os resultados da aplicação do modelo foram vistos na Figura 29 em conjunto com análise de cada dimensão, foi possível determinar pontos de melhoria apontados no Quadro 11. A empresa poderá utilizar os resultados como guia para os próximos passos da implementação da Indústria 4.0, de modo que cada modificação em sua maturidade possa ser determinada com o uso do Modelo Adaptado. Como sugestões de novos trabalhos, o Modelo Adaptado poderia ser aplicado a outros sítios que fazem parte da subsidiária Safran Helicopter Engines.

REFERÊNCIAS

- ABERDEEN. Industry 4.0 and Industrial IoT in Manufacturing: A Sneak Peek. <<https://www.aberdeen.com/opspro-essentials/industry-4-0-industrial-iot-manufacturing-sneak-peek/>> Acesso em: 02 de maio de 2019, 2017.
- AKDIL, Kartal Yagiz; USTUNDAG, Alp; CEVIKCAN, Emre. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. Em: **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**. Springer, Cham, 2018. p. 61-94.
- ALLEN, G. C. The First Industrial Revolution. 1967.
- ALMEIDA, Pedro Daniel Coimbra; BERNARDINO, Jorge. Big data open source platforms. In: **Big Data (BigData Congress), 2015 IEEE International Congress on**. IEEE, 2015. p. 268-275.
- ABNT. Projeto ABNT 08;020.30-009-1: aeronáutica e espaço – vocabulário – parte 1 – aeronaves. Rio de Janeiro, 2011.
- BASL, Josef. Companies on the way to industry 4.0 and their readiness. **Journal of Systems Integration**, v. 9, n. 3, p. 3-6, 2018.
- BERMAN, Saul J. et al. How cloud computing enables process and business model innovation. **Strategy & Leadership**, v. 40, n. 4, p. 27-35, 2012.
- BORDEN, Terry; COX, Richard A. **Technician's guide to programmable controllers**. Cengage Learning, 2012.
- CARVALHO, Gonçalo; BERNARDINO, Jorge. A Internet das Coisas e Big Data: Tendências futuras The Internet of Things and Big Data: Future Trends. 2017.
- CAUCHICK-MIGUEL, P. A. Estudo de caso na engenharia de produção: estrutura e recomendações para a sua condução. *Produção*, 17 (1), 216-229. 2007.
- DATHEIN, Ricardo. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. **DECON Textos Didáticos**, v. 2, 2003.
- DENKENA, Berend; MORKE, Tobias. **Cyber-Physical and Gentelligent Systems in Manufacturing and Life Cycle: Genetics and Intelligence – Keys to Industry 4.0**, 2017.
- ELKASEER, Ahmed *et al.* Approaches to a Practical Implementation of Industry 4.0. **Resource**, v. 3, p. 5, 2018
- FAA. **Regulations Policies**. <https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/media/faa-h-8083-19A.pdf>. Acesso em 21/05/2019
- FITZSIMMONS, Joe. Information technology and the third industrial revolution. **The Electronic Library**, v. 12, n. 5, p. 295-297, 1994.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, v. 4 ed, 2002.
- KANG, Hyoungh Seok et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 3, n. 1, p. 111-128, 2016.
- KARACAY, Gaye; AYDIN, Burak. Internet of Things and New Value Proposition. In: **Industry 4.0: Managing the Digital Transformation**. Springer, Cham, 2018. p. 173-185.
- KENESSEY, Zoltan. The primary, secondary, tertiary and quaternary sectors of the economy. **Review of Income and Wealth**, v. 33, n. 4, p. 359-385, 1987.

- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de Metodologia Científica. São Paulo: Atlas, 2001. **Metodologia científica: educação à distância(coord.) Ardinete Rover.–Joaçaba: UNOESC, 2006.**
- LASI, Heiner et al. Industry 4.0. **Business & information systems engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.
- LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung-An. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18-23, 2015.
- LICHTBLAU, K. et al. IMPULS-industrie 4.0-readiness. **Impuls-Stiftung des VDMA**, Aachen-Köln, 2015.
- METTLER, Tobias. Maturity assessment models: a design science research approach. **International Journal of Society Systems Science (IJSSS)**, v. 3, n. 1/2, p. 81-98, 2011.
- MOKYR, Joel. The second industrial revolution, 1870-1914. **Storia dell'economia Mondiale**, p. 219-45, 1998.
- OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção além da produção**. Bookman, 1997.
- PISCHING, M. et al. Arquitetura para desenvolvimento de sistemas ciber-físicos aplicados na indústria 4.0. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE**. 2017.
- RÜBMANN, Michael et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.
- RÜTTIMANN, Bruno G.; STÖCKLI, Martin T. Lean and industry 4.0—Twins, partners, or contenders? A due clarification regarding the supposed clash of two production systems. **Journal of Service Science and Management**, v. 9, n. 06, p. 485, 2016.
- SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. Springer Science & Business Media, 2012.
- SAFRAN-GROUP. **2018 Registration Document**. Disponível em <https://www.safran-group.com/sites/group/files/safran_ddr_2018_uk.pdf> Acesso em: 02 de maio de 2019.
- SALKIN, Ceren *et al.* A Conceptual Framework for Industry 4.0. In: **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**. Springer, Cham, 2018. p. 3-23.
- SANTOS, Reginaldo Carreiro. **Proposta de modelo de avaliação de maturidade da indústria 4.0**. 2018. Tese de Doutorado.
- SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 161-166, 2016.
- SCHUH, Günther et al. Industrie 4.0 Maturity Index. **Managing the Digital Transformation of Companies**. Munich: Herbert Utz, 2017.
- SIVRI, M. Sami; OZTAYSI, Basar. Data Analytics in Manufacturing. In: **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**. Springer, Cham, 2018. p. 155-172.
- TAO, Fei et al. **Data-driven smart manufacturing**. **Journal of Manufacturing Systems**, 2018.
- TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique Pereira. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá: UNIFEI, 2012.**
- UHLMANN, Eckart; BILZ, Martin; BAUMGARTEN, Jeannette. MRO—challenge and chance for sustainable enterprises. **Procedia Cirp**, v. 11, p. 239-244, 2013.
- YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2a edição. **Porto Alegre, 2001.**

WANG, Lidong; WANG, Guanghui. Big data in cyber-physical systems, digital manufacturing and industry 4.0. **International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)**, v. 6, n. 4, p. 1-8, 2016.

WEILL, Peter; WOERNER, Stephanie L. Optimizing your digital business model. **MIT Sloan Management Review**, v. 54, n. 3, p. 71, 2013.

ANEXO A – QUESTIONÁRIO MODELO 1

DIMENSÃO DE ESTRATÉGIA E ORGANIZAÇÃO

1. Como pode ser descrito o status da estratégia de implementação da Indústria 4.0?

- ☐ Não há estratégia
- ☐ Iniciativas piloto foram lançadas
- ☐ Estratégia em desenvolvimento
- ☐ Estratégia formulada
- ☐ Estratégia em implementação
- ☐ Estratégia implementada

2. São usados indicadores para verificar o status de implementação da Indústria 4.0?

- ☐ Sim, há um sistema de indicadores que é considerado apropriado
- ☐ Sim, há um sistema de indicadores que dá alguma orientação
- ☐ Não, a abordagem ainda não está completamente definida

3. Quais tecnologias são usadas na empresa?

- ☐ Sensores
- ☐ Dispositivos móveis
- ☐ RFID
- ☐ Sistemas de localização em tempo real
- ☐ Big Data para armazenamento e avaliação de dados em tempo real
- ☐ Tecnologias de nuvem como infraestrutura de TI escalável
- ☐ Sistemas embarcados de TI
- ☐ Comunicação M2M

4. Em quais partes da empresa houve investimentos para a implementação da Indústria 4.0 nos últimos dois anos e quais os planos para investimentos para os próximos 5 anos?

	Investimentos nos últimos 2 anos				Investimentos nos próximos 5 anos			
	Grande	Médio	Pequeno	Nenhum	Grande	Médio	Pequeno	Nenhum
P&D								
Produção/Manufatura								
Compras								
Logística								
Vendas								
Serviço								
T.I.								

5. Em quais áreas a empresa possui uma gestão sistemática de tecnologia e inovação?

- ☐ TI
- ☐ Tecnologia de produção
- ☐ Desenvolvimento de produto
- ☐ Serviços
- ☐ Centralizada, com uma gestão integrativa
- ☐ Não existe

DIMENSÃO DE FÁBRICA INTELIGENTE

Critério de Equipamento De Infraestrutura

1. Como a infraestrutura de equipamento pode ser avaliada quando se considera as funcionalidades a seguir?

	Não, não disponível	Sim, até certo nível	Sim, completamente
Máquinas/Sistemas que podem ser controladas por TI			
M2M: comunicação máquina para máquina			
Interoperabilidade: integração e colaboração entre máquinas e sistemas é possível			

2. Como pode ser avaliada a adaptabilidade da infraestrutura de equipamentos quando se considera as seguintes funcionalidades?

	Não é relevante	Relevante, mas não atualizável	Atualizável	Alta, pois a funcionalidade já está disponível
M2M: comunicação máquina para máquina				
Interoperabilidade: integração e colaboração com outras máquinas/sistemas é possível				

Critério de Modelo de Fábrica Digital

1. Já são coletados dados de máquinas e processos durante a produção?

- () Sim, todos
 () Sim, alguns
 () Não

2. Quais dos seguintes sistemas são usados? Eles possuem interface com o sistema principal?

	Em uso		Interface com o sistema principal	
	Sim	Não	Sim	Não
MES – manufacturing execution system				
ERP – enterprise resource planning				
PLM – product lifecycle management				
PDM – product data management				
PPS – product planning system				
PDA – production data acquisition				
MDC – machine data collection				
CAD – computer-aided design				
SCM – supply chain monitoring				

DIMENSÃO DE OPERAÇÕES INTELIGENTES

Critério de Integração Horizontal e Vertical

1. Onde há integração de compartilhamento de informações inter-departamentos no seu sistema? Diferencie o compartilhamento interno (entre departamentos) e externo (com clientes e fornecedores) de informações.

	Internamente entre departamentos		Externamente com clientes e fornecedores	
	Sim	Não	Sim	Não
P&D				
Produção Manufatura				
Compras				
Logística				
Vendas				
Finança/Contabilidade				
Serviço				
TI				
Outro departamento				

Critério de Controle Distribuído

1. A empresa já usa algum dispositivo para deslocamento autônomo de partes dentro da linha de produção?

- () Sim, pela empresa toda
 () Sim, mas apenas em áreas selecionadas
 () Sim, mas apenas em teste
 () Não

2. A empresa tem processos de produção que respondem autonomamente/automaticamente a condições de produção em tempo real?

- () Sim, pela empresa toda
 () Sim, mas apenas em áreas selecionadas
 () Sim, mas apenas em teste
 () Não

Critério de Segurança de Dados e Comunicações

1. Como a TI está organizada?

- () Sem departamento interno de TI (é usado um prestador de serviço)
 () Departamento de TI central
 () Departamentos de TI em cada área (produção, desenvolvimento de produto, etc.)
 () Profissionais de TI estão ligados a cada departamento

2. Em que nível estão as soluções de segurança de TI?

	Solução planejada	Solução em progresso	Solução implementada
Segurança do armazenamento de dados interno			
Segurança dos dados no serviço de nuvem			
Segurança da comunicação para a troca de dados dentro da empresa			
Segurança da comunicação para a troca de dados com parceiros de negócios			

3. A empresa já utiliza serviços de sistema de nuvem?

	Sim	Não, mas há planejamento	Não
Software baseado em nuvem			
Para análise de dados			
Para armazenamento de dados			

DIMENSÃO PRODUTOS INTELIGENTES

1. A empresa oferece produtos equipados com as seguintes com as seguintes funcionalidades adicionadas?

	Sim	Não
Memória de produto		
Autodiagnostico		
Integração		
Localização		
Sistemas de assistência		
Monitoramento		
Informação de objeto		
Identificação automática		

DIMENSÃO DE SERVIÇOS DIRIGIDOS POR DADOS

1. Os dados de processos adquiridos na produção e na fase de uso liberam a disponibilização de novos serviços. São oferecidos esses serviços?

- () Sim, e há integração com os clientes
 () Sim, mas sem integração com os clientes
 () Não

2. Os dados coletados na fase de uso são usados pela empresa?

- () Sim
 () Não – os dados são coletados, mas não são utilizados
 () Não – não são coletados dados na fase de uso

DIMENSÃO DE EMPREGADOS

1. Qual o nível das habilidades dos empregados quando se considera os futuros requisitos para a Indústria 4.0?

	Não relevante	Não existente	Existente, mas inadequado	Adequado
Infraestrutura de TI				
Tecnologia de automação				
Análise de dados				
Segurança de dados/comunicação				
Desenvolvimento ou aplicação de sistemas de assistência				
Software de colaboração				
Habilidades não tecnológicas como pensamento sistêmico e compreensão de processos				

ANEXO B – QUESTIONÁRIO MODELO 4

DIMENSÃO DE PRODUTOS E SERVIÇOS INTELIGENTES

1. Quais das funcionalidades abaixo são parte do produto da empresa?
 - ☐ Comunicação com outros produtos/plataformas, máquinas e sistemas externos
 - ☐ Coleta de dados do ambiente e outros sistemas
 - ☐ Armazenamento de dados coletados no sistema ou na nuvem
 - ☐ Plataforma na qual o produto ou a nuvem funcionam

2. Quais estágios de análise de dados podem ser feitos pelo produto? (Porter and Heppelmann 2015)
 - ☐ Descritiva – captura a condição, operação e ambiente do produto
 - ☐ Diagnóstico – Examina as causas de performance reduzida ou falha
 - ☐ Preditiva – Detecta padrões que sinalizam eventos iminentes
 - ☐ Prescritivo – Identifica medidas para melhorar resultados ou corrigir problemas

3. Até que ponto do ciclo de vida os produtos podem ser rastreados? (The University of Warwick Maturity Model)
 - ☐ Rastreamento limitado ou inexistente
 - ☐ Produtos podem ser rastreados enquanto estão em movimentação entre locais de distribuição e manufatura internos
 - ☐ Produtos podem ser rastreados na manufatura e na distribuição até que cheguem aos clientes
 - ☐ Produtos podem ser rastreados em todo o seu ciclo de vida

4. Para quem são oferecidos serviços/conhecimento obtidos através dos dados de uso obtidos pelo produto?
 - ☐ Nenhum ☐ Negócio da empresa ☐ Clientes ☐ Parceiros

DIMENSÃO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO INTELIGENTES

Produção, Logística e Compras

1. Quais dos sistemas abaixo são usados? Há interface com o sistema principal da empresa? (Lichtblau et al. 2015)

	Interface com o sistema principal?	
	Não	Sim
MES – manufacturing execution system		
ERP – enterprise resource planning		
PDM – production data management		
PPS – production planning system		
PDA – production data acquisition		
MDC – machine data collection		

CAD – computer aided design		
SCM – supply chain management		

2. A que nível a cadeia de suprimentos é integrada? (The University of Warwick Maturity Model)

- ☐ Comunicação reativa específica (*Ad hoc*) com clientes e fornecedores
- ☐ Comunicação básica e compartilhamento de dados onde é requisitado com clientes e fornecedores
- ☐ Transferência de dados entre fornecedores/cliente (por exemplo, níveis de inventário para o cliente)
- ☐ Sistemas integrados com fornecedores/clientes para os processos apropriados (Por exemplo planejamento integrado em tempo real)

3. A que nível os equipamentos de produção e os sistemas são automatizados?

- ☐ A nível de máquinas: Parcial
- ☐ A nível de máquinas: Exato (Carregamento/Descarregamento + Operação)
- ☐ Linha/Célula de Produção: Parcial
- ☐ Linha/Célula de Produção: Exato (Carregamento/Descarregamento + Operação + Transporte)
- ☐ A nível de fábrica: Parcial

4. Expresse o nível de personalização na produção.

- ☐ Baixo—10,000 + tamanho do lote
- ☐ Médio
- ☐ Alto—1 tamanho de lote

5. Quais dados sobre maquinários, processos e produtos assim como avarias e as suas causas são coletadas durante a produção e como são coletadas? (Lichtblau et al. 2015)

	Manualmente	Automaticamente
Dados de Inventário		
Tempos de produção na manufatura		
Capacidade de utilização de equipamentos		
Resíduos de produção		
Error quota		
Utilização de funcionários		
Dados sobre processamento restante		
Efetividade geral de equipamentos (OEE)		
Outro		

6. Como os dados coletados são usados na produção? (Lichtblau et al. 2015)

- ☐ Manutenção preditiva
- ☐ Otimização de logística e processos de produção
- ☐ Criação de transparência no processo de produção
- ☐ Gestão da qualidade
- ☐ Controle automático da produção por meio de dados em tempo real
- ☐ Otimização de consumo de recursos (energia, material)

() Outros:

7. Como os dados coletados são usados na logística e em compras? (Schreiber et al. 2016)

- () Gestão de predição de riscos de fornecedores (para detectar antecipadamente as falhas do fornecedor)
 () Fornecimento de *scorecards*, objetivos e melhoria no rastreamento.
 () Rastreamento automático do atingimento de objetivos e pagamento de bônus.
 () Sistema de gestão de reivindicação digital com sistema de aviso automático.
 () Análise de *big data* para detector globalmente novos fornecedores.

8. Até que ponto a cadeia de valor tem uma visibilidade end-to-end?

(The University of Warwick Maturity Model)

- () Sem integração com fornecedores ou clientes
 () Local do site, capacidade, inventário e operações são visíveis entre a primeira camada de fornecedores e clientes.
 () Local do site, capacidade, inventário, e operações são visíveis para a cadeia de suprimentos
 () Local do site, capacidade, inventário, e operações são visíveis em tempo real para a cadeia de valor e usados para monitoramento e otimização.

9. Qual o nível de rastreabilidade em tempo real da operação no meio digital? (Conceito de Gêmeos-digitaís)

- () Nenhum
 () A nível de máquina
 () A nível de linha/célula de produção
 () A nível de fábrica

10. Qual o nível de uso de tecnologias nas áreas de produção, logística e compras?

	Tecnologias virtual e móvel	Impressora 3D	Robôs adaptativos e colaborativos
Nenhum			
Baixo			
Médio			
Alto			

DIMENSÃO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO INTELIGENTES

P&D – Desenvolvimento de Produtos

1. A que nível a fabricação e formas de uso de um produto são simulados durante o desenvolvimento do produto?

- () Nenhum () Baixo () Médio () Alto

2. A que nível os dados obtidos do produto são usados no desenvolvimento de um novo produto?

- () Nenhum () Baixo () Médio () Alto

3. Impressoras 3D são usadas no processo de produção/prototipagem?

- () Não () Sim

4. A informação do projeto do produto é automaticamente transferida com o CAD/CAM para a máquina?

☐ Não ☐ Sim

5. Os clientes podem customizar os produtos antes da produção de acordo com a sua preferência?

☐ Não ☐ Sim

DIMENSÃO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO INTELIGENTES

Serviços de Pós-venda

1. Como você se beneficia de dados coletados dos serviços de pós-venda?

- ☐ Detecção de problemas de qualidade iniciais e focado em Recalls
- ☐ Melhoria de projeto de produto
- ☐ Recuperação avançada de fornecedores
- ☐ Planejamento otimizado de peças reserva
- ☐ Minimizar requisições suspeitas e fraudulentas
- ☐ Redução das taxas de “*remorse returns*” e de retornos sem problemas
- ☐ Aumento na precisão da previsão de reservas
- ☐ Qualidade de serviço e informação de serviço avançadas
- ☐ Intimidade com o cliente intensificada e a próxima melhor ação

2. Quais serviços são providos a partir do uso de *data analytics* e outras tecnologias no serviço de pós-venda?

- ☐ Manutenção remota
- ☐ Assistência em tempo real a problemas e falhas
- ☐ Gestão de requisições assistidas por TI
- ☐ Gestão de pedidos (CRM, histórico de pedido, rastreamento de entrega, etc.)
- ☐ Exibição da história do produto
- ☐ Previsão de entrega

3. São utilizadas tecnologias digitais (móvel e de virtualização) nos processos do serviço de pós-venda?

☐ Não ☐ Sim

DIMENSÃO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO INTELIGENTES

Precificação/Promoção

1. Quais dos seguintes estudos são conduzidos por meio do *customer analytics*?

- ☐ Segmentação de consumidor
- ☐ Valor do tempo de vida para o cliente
- ☐ Vendas cruzadas
- ☐ Gestão de campanha
- ☐ Análise de cesta (*basket*) de mercado/ de agrupamento de mercado
- ☐ Recomendação de produto
- ☐ Análise da movimentação do cliente
- ☐ Gestão de portfólio de produtos

2. São utilizados dados do ambiente/outras plataformas na precificação do produto ou na precificação dinâmica?

	Precificação de produto	Precificação dinâmica
Não		
Sim		

3. Há geração de novas campanhas a partir de dados de compras e de uso?

☐ Não ☐ Sim

4. Os sistemas de gestão de campanha trabalham integrados com outros sistemas?

☐ Não ☐ Sim

5. São usadas as análises de performance para novas campanhas?

☐ Não ☐ Sim

DIMENSÃO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO INTELIGENTES

Vendas e canais de distribuição

1. Qual é o nível de suporte da equipe de vendas com produtos e serviços digitais e acesso em tempo real aos sistemas?

☐ Nenhum ☐ Baixo ☐ Médio ☐ Alto

2. São conduzidas análises de rentabilidade em tempo real?

☐ Não ☐ Sim

3. São usados sistemas de gestão de performance automatizados e em tempo real para a força de vendas local?

☐ Não ☐ Sim

4. A que nível os canais de venda são integrados?

☐ Nenhum ☐ Baixo ☐ Médio ☐ Alto

5. A que nível são usados canais integrados para comunicação com clientes e para gerenciamento da interação com os clientes?

☐ Nenhum ☐ Baixo ☐ Médio ☐ Alto

6. A que nível há colaboração com parceiros para atingir clientes (por exemplo, troca de conhecimento sobre clientes, entre outros)?

☐ Nenhum ☐ Baixo ☐ Médio ☐ Alto

7. Qual o conteúdo da análise feita nas redes sociais?

☐ Nenhum ☐ Análise de sentimento ☐ Análise de tendência

DIMENSÃO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO INTELIGENTES

Recursos Humanos

1. Em quais áreas os dados coletados e a análise de dados são usados?

	Dados coletados	Análise de dados
--	-----------------	------------------

Análise de competências – (processo de gestão de talentos que permite a identificação de capacidades ou núcleo de capacidades necessárias ou desejáveis no negócio.)		
Análise de capacidade – (busca estabelecer como as pessoas são operacionalmente eficientes no negócio.)		
Análise de aquisição de competências – (o processo de avaliação de como a empresa adquire as competências desejáveis.)		
Análise de rotatividade de empregados – (processo de avaliação da rotatividade de empregados com o intuito de prever o futuro e reduzir a rotatividade de empregados.)		
Análise de cultura corporativa – (o processo de avaliação e melhor compreensão sobre a cultura corporativa ou diferentes culturas que existem na empresa.)		
Análise do canal de recrutamento – (o processo de definir de onde vêm os melhores funcionários e quais canais de recrutamento são mais eficientes.)		
Análise de liderança – (desagrupa as várias dimensões da performance da liderança por meio de dados ganhos através do uso de questionários, grupos focais, entrevistas de funcionários e etnografia.)		
Análise da performance de funcionários – (busca avaliar a performance individual do funcionário.)		

2. A empresa consegue compartilhar dados em tempo real para os funcionários em campo?
☐ Não ☐ Sim

3. O treinamento de funcionários pode ser feito em um ambiente virtual?
☐ Não ☐ Sim

DIMENSÃO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO INTELIGENTES

Tecnologia da Informação

1. Em que nível estão as soluções de segurança de TI? (Lichtblau et al. 2015)

	Solução planejada	Solução em progresso	Solução implementada
Segurança do armazenamento de dados interno			
Segurança dos dados no serviço de nuvem			
Segurança da comunicação para a troca de dados dentro da empresa			
Segurança da comunicação para a troca de dados com parceiros de negócios			

2. A empresa já utiliza serviços de sistema de nuvem? (Lichtblau et al. 2015)

	Software baseado em nuvem	Para análise de dados	Para armazenamento de dados
Produção, Logística e Compras			
P&D - Desenvolvimento de produto			
Serviço de pós-venda			
Canais de venda e distribuição			
Precificação/Promoção			
Recursos Humanos			
Tecnologias da Informação			
Finança Inteligente			

3. Painéis de controle de TI são utilizados para a rastreabilidade dos processos da empresa?
() Não () Sim

4. Como é avaliada a infraestrutura de equipamentos quando são consideradas as seguintes funcionalidades? (Lichtblau et al. 2015)

	Não, indisponível	Sim, até certo nível	Sim, completamente
Máquinas/sistemas podem ser controladas por sistemas de TI			
M2M: comunicação <i>machine- to-machine</i>			
Interoperabilidade: integração e colaboração com outras máquinas e sistema é possível			

DIMENSÃO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO INTELIGENTES**Finança Inteligente**1. São realizados cálculos de custo em tempo real com os dados obtidos da produção?
() Não () Sim2. São analisados o fluxo de caixa e investimentos em uma base histórica?
() Não () Sim3. A que nível são utilizados dados financeiros para tomar uma decisão de investimento?
() Nenhum () Baixo () Médio () Alto4. A que nível os sistemas financeiros são automatizados?
() Nenhum () Baixo () Médio () Alto5. Como é feita a medição do risco financeiro potencial?
() Nunca () Em uma base histórica () Em tempo real

DIMENSÃO DE ESTRATÉGIA E ORGANIZAÇÃO

Modelos de negócios

1. Os produtos e serviços existentes são condizentes com modelos de negócio de inovação digital?
☐ Não ☐ Sim
2. A que nível há conhecimento sobre o modelo de negócio “*As-a-service*”? (The University of Warwick Maturity Model)
☐ Não há conhecimento.
☐ O conceito é compreendido assim como os planos iniciais para o desenvolvimento.
☐ Compreensão quase completa e implementação dos planos estão em desenvolvimento.
☐ “*As-a-service*” já foi implementado e está sendo oferecido ao consumidor
3. Qual nível de recursos é alocado para o modelo de negócio digital?
☐ Nenhum ☐ Baixo ☐ Médio ☐ Alto
4. O atual modelo de negócios da empresa é reavaliado e modificado durante o seu período de vigência no sentido da digitalização?
☐ Não ☐ Sim
5. A que nível há monetização de novos serviços dirigidos por dados?
☐ Nenhum ☐ 0–2.5% ☐ 2.5–10% ☐ Mais de 10%

DIMENSÃO DE ESTRATÉGIA E ORGANIZAÇÃO

Parcerias Estratégicas

1. A empresa possui parcerias para projetos de Indústria 4.0 com as seguintes opções?
☐ Nenhuma
☐ Universidades
☐ Fornecedores de tecnologias
☐ Fornecedores
☐ Clientes
2. Como pode ser descrito o status da estratégia de implementação da Indústria 4.0? (Lichtblau et al. 2015)
☐ Não há estratégia
☐ Iniciativas piloto foram lançadas
☐ Estratégia em desenvolvimento
☐ Estratégia formulada
☐ Estratégia em implementação
☐ Estratégia implementada
3. São usados indicadores para rastrear o status de implementação da Indústria 4.0 na empresa?
☐ Não, a abordagem não está claramente definida
☐ Sim, há um sistema de indicadores que dá alguma orientação
☐ Sim, há um sistema de indicadores que são considerados apropriados

DIMENSÃO DE ESTRATÉGIA E ORGANIZAÇÃO

Investimentos em Tecnologia

- Quais tecnologias da Indústria 4.0 estão em utilização na empresa?
☐ Nenhuma
☐ Análise de dados e Inteligência artificial
☐ Robôs adaptativos
☐ Simulação
☐ Sistemas embarcados
☐ Comunicação e *Networking*
☐ Cyber-segurança
☐ Nuvem
☐ Manufatura aditiva
☐ Tecnologia de virtualização (VR e AR)
☐ Sensores e atuadores
☐ RFID e RTLS
☐ Tecnologias móveis (dispositivos)
- A que nível estão os orçamentos para investimentos na Indústria 4.0?
☐ Nenhum ☐ Baixo ☐ Médio ☐ Alto
- Qual a frequência de análise do custo benefício dos investimentos para a Indústria 4.0?
☐ Não há investimento mensurável ainda
☐ Não há análise do custo benefício dos investimentos em Indústria 4.0 ainda.
☐ Análise anual do custo benefício do investimento na Indústria 4.0
☐ Análise trimestral do custo benefício do investimento na Indústria 4.0
- Em quais partes da empresa há planejamento de investimento? Em quais partes já foi investido na Indústria 4.0? (Lichtblau et al. 2015)

	Investimento Planejado	Investimento Feito
Produção, Logística e Compras		
P&D – Desenvolvimento de produtos		
Serviços de pós-venda		
Precificação/Promoção		
Canais de vendas e distribuição		
Recursos Humanos		
Tecnologia da Informação		
Finança		

DIMENSÃO DE ESTRATÉGIA E ORGANIZAÇÃO

Estrutura e Liderança Organizacional

- As equipes de projetos são estruturadas de maneira interdisciplinar?
☐ Não
☐ Sim

2. Há uma unidade do negócio para manter o relacionamento ou se comunicar com os clientes?

- ☐ Não
- ☐ Atendimento ao cliente
- ☐ Gestão de relacionamento com clientes

3. Há uma estrutura organizacional dirigida por dados? (Cientista de dados, equipe de análise, diretor de transformação digital, etc.)

- ☐ Não ☐ Sim

4. A que nível os funcionários possuem habilidades relevantes para a Indústria 4.0? (The University of Warwick Maturity Model)

- ☐ Funcionários possuem pouca ou nenhuma experiência com tecnologias digitais
- ☐ Áreas com foco tecnológico possuem funcionários com algumas habilidades digitais
- ☐ A maior parte das áreas possui capacidade de análise digital e de dados bem desenvolvida
- ☐ Por toda a empresa, habilidades digitais e analíticas de ponta são prevaletentes.

5. Há treinamento para a transformação digital na empresa?

- ☐ Não ☐ Sim

6. Como a TI é organizada? (Lichtblau et al. 2015)

- ☐ Sem departamento interno de TI (é usado um prestador de serviço)
- ☐ Departamento de TI central
- ☐ Departamentos de TI em cada área (produção, desenvolvimento de produto, etc.)
- ☐ Profissionais de TI estão ligados a cada departamento

7. Em qual nível os departamentos colaboram entre si? (The University of Warwick Maturity Model)

- ☐ A empresa opera em silos operacionais (sem interação)
- ☐ Há interação limitada entre os departamentos
- ☐ Departamentos estão abertos a colaboração cross-funcional
- ☐ Departamentos estão abertos a colaboração entre toda a empresa para atingir melhorias

8. A que nível a equipe de liderança suporta a Indústria 4.0? (The University of Warwick Maturity Model)

- ☐ Equipe de liderança não reconhece o valor dos investimentos da Indústria 4.0
- ☐ Equipe de liderança está investigando os potenciais benefícios da Indústria 4.0
- ☐ Equipe de liderança reconhece os benefícios financeiros a serem obtidos por meio da Indústria 4.0 e está desenvolvendo planos de investimento
- ☐ Amplo suporte à Indústria 4.0 tanto da equipe de liderança como do negócio como um todo

9. Como a equipe de Indústria 4.0 está organizada para executar projetos de inovação?

- ☐ Não há funcionários para os projetos de Indústria 4.0
- ☐ Há funcionários para o projeto de Indústria 4.0, mas em unidades de negócio distintas
- ☐ Há funcionários para o projeto da Indústria 4.0 na mesma unidade de negócio.

10. Há um ambiente de trabalho no qual a unidade de TI e de TO (Tecnologia Operacional) trabalham em conjunto?

- ☐ Não ☐ Sim

APENDICE A – MODELO ADAPTADO

DIMENSÃO DE ESTRATÉGIA E ORGANIZAÇÃO

1. Em qual nível os produtos e serviços existentes estão condizentes com modelos de inovação digital?

Não condizente

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

Condizente

2. Em qual nível há conhecimento sobre o modelo de negócio "As-a-service"?

Não há conhecimento

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

“As-a-service” é compreendido e já foi implementado

3. Qual o nível de recursos é alocado para o modelo de negócio digital?

Nenhum

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

Alto

4. Considerando a digitalização, o modelo de negócios da empresa é reavaliado durante o seu período de vigência?

☐ Não ☐ Sim

5. Qual o nível de monetização de novos serviços dirigidos por dados?

Nenhum

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

Alto

6. A empresa possui parcerias para projetos de Indústria 4.0 com as seguintes opções?

- Universidades
- Fornecedores de tecnologias
- Fornecedores
- Clientes
- Outros

Marque uma das alternativas a seguir:

- ☐ 0 Nenhuma das opções
- ☒ 1 Com 1
- ☐ 2 Com 2
- ☐ 3 Com 3
- ☐ 4 Com 4
- ☐ 5 Com todas

7. Como pode ser descrito o status da estratégia de implementação da Indústria 4.0?

☐ 0 Não há estratégia

- ☐ 1 Iniciativas piloto foram lançadas
☒ 2 Estratégia em desenvolvimento
☐ 3 Estratégia formulada
☐ 4 Estratégia em implementação
☐ 5 Estratégia implementada

8. A que nível são utilizados indicadores para rastrear o status de implementação da Indústria 4.0 na empresa?

Não há abordagem
claramente definida

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
0	1	2	3	4	5

Há um sistema de
indicadores apropriados

9. Quantas tecnologias da Indústria 4.0 estão em utilização na empresa?

- | | |
|---|--|
| -Análise de dados e Inteligência artificial | -Nuvem |
| -Robôs adaptativos | -Manufatura aditiva |
| -Simulação | -Tecnologia de virtualização (VR e AR) |
| -Sistemas embarcados | -Sensores e atuadores |
| -Comunicação e Networking | -RFID e RTLS |
| -Cyber-segurança | -Tecnologias móveis (dispositivos) |

- ☐ 0 Nenhuma
☐ 1 Entre 1 e 2
☒ 2 Entre 3 e 4
☐ 3 entre 5 e 6
☐ 4 Entre 7 e 8
☐ 5 Entre 9 e 12

10. Em que nível estão os investimentos para a Indústria 4.0 (Considerando o investimentos do site)?

Nenhum

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
0	1	2	3	4	5

Alto

11. Qual a frequência de análise do custo benefício dos investimentos para a Indústria 4.0?

- ☐ 0 Não há investimento mensurável
☐ 1 Não há análise
☐ 2 Há análise sem periodicidade
☐ 3 Análise bienal
☒ 4 Análise anual
☐ 5 Análise trimestral

12. Em quais partes da empresa há planejamento de investimento para a Indústria 4.0?

- Produção, Logística e Compras
- Promoção
- Canais de vendas e distribuição
- Recursos Humanos
- Tecnologia da Informação
- Finança

Nenhuma

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

Todas

13. Em quais partes da empresa já foi investido na Indústria 4.0?

- Produção, Logística e Compras
- Promoção
- Canais de vendas e distribuição
- Recursos Humanos
- Tecnologia da Informação
- Finança

Nenhuma

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

Todas

14. Qual o nível de estruturação organizacional dirigida por dados? (Cientista de dados, equipe de análise, diretor de transformação digital, etc.)

Não há

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

Estruturação para dados completa

DIMENSÃO DE PRODUTOS E SERVIÇOS INTELIGENTES

1. Quantas das funcionalidades abaixo são parte do produto da empresa?

- Comunica-se com outros produtos/plataformas, máquinas e sistemas externos
- Coleta dados do ambiente e outros sistemas
- Armazena dados coletados em sistema próprio
- Armazena dados coletados em sistema de nuvem
- Possui uma plataforma para funcionamento do produto

Nenhuma

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

Todas

2. Quais estágios de análise de dados podem ser feitos pelo produto?

- ☐ 0 Não é possível coletar dados
- ☐ 1 Não há nenhum tipo de análise de dados
- ☒ 2 Descritiva – captura a condição, operação e ambiente do produto
- ☐ 3 Diagnóstico – Examina as causas de performance reduzida ou falha
- ☐ 4 Preditiva – Detecta padrões que sinalizam eventos iminentes
- ☐ 5 Prescritivo – Identifica medidas para melhorar resultados ou corrigir problemas

3. Até que ponto do ciclo de vida os produtos podem ser rastreados?

- ☐ 0 Rastreamento inexistente
- ☐ 1 Rastreamento limitado
- ☐ 2 Produtos podem ser rastreados durante a manufatura
- ☐ 3 Produtos podem ser rastreados em toda a manufatura e entre os locais de armazenamento
- ☐ 4 Produtos podem ser rastreados na manufatura e na distribuição até que cheguem aos clientes
- ☒ 5 Produtos podem ser rastreados em todo o seu ciclo de vida

4. Para quem são oferecidos serviços/conhecimento obtidos através dos dados de uso obtidos pelo produto?

- () 0 Não são oferecidos serviços/conhecimento obtidos através dos dados de uso obtidos pelo produto
- () 1 Os serviços/conhecimento obtidos são usados apenas internamente
- (x) 2 Os serviços/conhecimento obtidos são oferecidos para parceiros
- () 3 Os serviços/conhecimento obtidos são oferecidos para clientes
- () 4 Os serviços/conhecimento obtidos são oferecidos para clientes e parceiros
- () 5 São oferecidos serviços/conhecimento para todas as partes interessadas

5. Quantos dos seguintes itens a empresa se beneficia a partir de dados coletados dos serviços de pós-venda?

- Detecção de problemas de qualidade iniciais e focado em Recalls
- Melhoria de projeto de produto
- Recuperação avançada de fornecedores
- Planejamento otimizado de peças reserva
- Minimizar requisições suspeitas e fraudulentas
- Redução das taxas de “remorse returns” e de retornos sem problemas
- Aumento na precisão da previsão de reservas
- Qualidade de serviço e informação de serviço avançadas
- Intimidade com o cliente intensificada e a próxima melhor ação

() 0 () 1 () 2 (x) 3 () 4 () 5
 0 ou 1 2 ou 3 4 ou 5 6 ou 7 8 Todos

6. Quantos dos serviços abaixo são providos a partir do uso de big data e outras tecnologias no serviço de pós-venda?

- Manutenção remota
- Assistência em tempo real a problemas e falhas
- Gestão de requisições assistidas por TI
- Gestão de pedidos (CRM, histórico de pedido, rastreamento de entrega, etc.)
- Exibição da história do produto
- Previsão de entrega

Nenhuma

()	()	(x)	()	()	()
0	1	2	3	4	5

Todas

7. Qual o nível de utilização de tecnologias digitais (móvel e de virtualização) nos processos do serviço de pós-venda?

Não são utilizadas

()	(x)	()	()	()	()
0	1	2	3	4	5

Utilizadas em todos os processos

DIMENSÃO DE PRODUÇÃO INTELIGENTE

1. Quantos dos sistemas abaixo são usados?

- MES – manufacturing execution system
- ERP – enterprise resource planning
- PDM – production data management
- PPS – production planning system
- PDA – production data acquisition
- MDC – machine data collection
- CAD – computer aided design
- SCM – supply chain management

☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5
 Nenhum 1 2 ou 3 4 ou 5 6 ou 7 Todos

2. Em quantos dos sistemas da questão anterior há interface com o sistema principal da empresa?

☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5
 Nenhum 1 2 ou 3 4 ou 5 6 ou 7 Todos

3. A que nível a cadeia de suprimentos é integrada?

- ☐ 0 Não há integração
☐ 1 Comunicação reativa específica (Ad hoc) com clientes e fornecedores
☐ 2 Comunicação básica e compartilhamento de dados onde é requisitado com clientes e fornecedores
☒ 3 Transferência de dados entre fornecedores/cliente (por exemplo, níveis de inventário para o cliente)
☐ 4 Transferência automatizada de dados entre fornecedores/cliente
☐ 5 Sistemas integrados com fornecedores/clientes para os processos apropriados (Por exemplo planejamento integrado em tempo real)

4. Quão automatizados são os equipamentos de produção e os sistemas a nível de máquinas?

Não há automação	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Completamente automatizados
	0	1	2	3	4	5	

5. Qual o nível de personalização na produção?

Baixo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Alto
	0	1	2	3	4	5	

6. Quantos dos tipos de dados sobre maquinários, processos e produtos assim como avarias e as suas causas são coletadas durante a produção?

- Dados de Inventário
- Tempos de produção na manufatura
- Capacidade de utilização de equipamentos
- Resíduos de produção
- Error quota
- Utilização de funcionários
- Dados sobre processamento restante
- Efetividade geral de equipamentos (OEE)
- Outro

☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5
 0 ou 1 2 ou 3 4 ou 5 6 ou 7 8 Todos

7. Em quantos dos tipos de dados da questão anterior a coleta é automática?

☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5
 0 ou 1 2 ou 3 4 ou 5 6 ou 7 8 Todos

8. Em quantos dos itens abaixo os dados coletados são usados?

- Manutenção preditiva
- Otimização de logística e processos de produção

- Criação de transparência no processo de produção
- Gestão da qualidade
- Controle automático da produção por meio de dados em tempo real
- Otimização de consumo de recursos (energia, material)

() 0 () 1 () 2 (x) 3 () 4 () 5

0 ou 1 2 3 4 5 Todos

9. Em quantos dos itens abaixo são usados os dados coletados considerando logística e compras?

- Gestão de predição de riscos de fornecedores (para detectar antecipadamente as falhas do fornecedor)
- Desenvolvimento de scorecards, objetivos e melhoria no rastreamento.
- Rastreamento automático do atingimento de objetivos e pagamento de bônus.
- Sistema de gestão de reivindicação digital com sistema de aviso automático.
- Análise de big data para detector globalmente novos fornecedores.

Nenhum

()	()	(x)	()	()	()
0	1	2	3	4	5

Alto

10. A que nível a cadeia de valor tem uma visibilidade end-to-end?

Sem integração com
fornecedores ou
clientes

()	()	(x)	()	()	()
0	1	2	3	4	5

Capacidade, inventário e
operações do site são
visíveis em tempo real pela
cadeia de valor

11. Qual o nível de rastreabilidade em tempo real da operação no meio digital? (Conceito de Gêmeos-digitais)

Nenhum

(x)	()	()	()	()	()
0	1	2	3	4	5

Alto

12. Qual o nível de uso de tecnologias nas áreas de produção, logística e compras?

	Tecnologias virtual e móvel	Manufatura aditiva	Robôs adaptativos e colaborativos
Nenhum			x
Baixo		x	
Médio	x		
Alto			

DIMENSÃO DE OPERAÇÃO INTELIGENTE

1. Quantos dos seguintes estudos são conduzidos por meio da análise de dados de clientes?

- Segmentação de consumidor
- Valor do tempo de vida para o cliente
- Vendas cruzadas
- Gestão de campanha
- Análise de cesta (basket) de mercado/ de agrupamento de mercado
- Recomendação de produto
- Análise da movimentação do cliente

- Gestão de portfólio de produtos

() 0 () 1 () 2 () 3 (x) 4 () 5
 Nenhum 1 2 ou 3 4 ou 5 6 ou 7 Todos

2. A que nível há geração de campanhas a partir de dados de compras e de uso?

Nenhum

(x)	()	()	()	()	()
0	1	2	3	4	5

 Alto

3. Qual o nível de integração dos sistemas de gestão de campanha com outros sistemas?

Não há

()	(x)	()	()	()	()
0	1	2	3	4	5

 Integração completa

4. A que nível há utilização de análises de performance para novas campanhas?

Não são utilizadas

()	()	()	()	()	(x)
0	1	2	3	4	5

 Alto

5. Qual é o nível de suporte da equipe de vendas com produtos e serviços digitais e acesso em tempo real aos sistemas?

Nenhum

()	()	()	(x)	()	()
0	1	2	3	4	5

 Alto

6. Qual a frequência de análise de rentabilidade?

Não é feita

()	()	()	()	(x)	()
0	1	2	3	4	5

 Em tempo real

7. Qual o nível de automatização dos sistemas de gestão de performance para a força de vendas local?

Nenhum

()	()	()	(x)	()	()
0	1	2	3	4	5

 Alto

8. A que nível há integração dos canais para comunicação com clientes e para gerenciamento da interação com os clientes?

Não são usados

()	()	()	(x)	()	()
0	1	2	3	4	5

 Alto

9. A que nível há colaboração com parceiros para atingir clientes (por exemplo, troca de conhecimento sobre clientes, entre outros)?

Nenhum

()	()	()	()	()	(x)
0	1	2	3	4	5

 Alto

10. Qual o nível de análise em redes sociais?

Nenhum

(x)	()	()	()	()	()
0	1	2	3	4	5

 Alto

11. Em que nível estão as seguintes soluções de segurança de TI?

- Segurança do armazenamento de dados interno
- Segurança dos dados no serviço de nuvem
- Segurança da comunicação para a troca de dados dentro da empresa

- Segurança da comunicação para a troca de dados com parceiros de negócios

Sem solução planejada

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

 Solução implementada

12. Qual o nível de utilização de serviços de sistema de nuvem?

Não utilizados

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

 Utilizados em todas as áreas da empresa

13. Qual o nível de utilização de painéis de controle para os processos da empresa?

Não são utilizados

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

 Alto

14. Como é avaliada a infraestrutura de equipamentos quando são consideradas as seguintes funcionalidades?

	Não, indisponível	Sim, até certo nível	Sim, completamente
Máquinas/sistemas podem ser controladas por sistemas de TI		x	
M2M: comunicação machine- to-machine		x	
Interoperabilidade: integração e colaboração com outras máquinas e sistema é possível		x	

15. São realizados cálculos de custo em tempo real com os dados obtidos da produção?

() Não (x) Sim

16. São analisados o fluxo de caixa e investimentos em uma base histórica?

() Não (x) Sim

17. A que nível são utilizados dados financeiros para tomar uma decisão de investimento?

Nenhum

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

 Alto

18. A que nível os sistemas financeiros são automatizados?

Nenhum

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

 Alto

19. Como é a frequência da medição do risco financeiro potencial?

Não é feita

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

 Em tempo real

20. Há uma unidade do negócio para manter o relacionamento ou se comunicar com os clientes?

Não existe

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
0	1	2	3	4	5

 Gestão de relacionamento com clientes

DIMENSÃO DE CULTURA E EMPREGADOS

1. Qual o nível de interdisciplinaridade das equipes de projeto?

Nenhum

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
0	1	2	3	4	5

Alto

2. Em quantas das áreas a seguir os dados são coletados e é feita análise de dados?

- Análise de competências – (processo de gestão de talentos que permite a identificação de capacidades ou núcleo de capacidades necessárias ou desejáveis no negócio.)
- Análise de capacidade – (busca estabelecer como as pessoas são operacionalmente eficientes no negócio.)
- Análise de aquisição de competências – (o processo de avaliação de como a empresa adquire as competências desejáveis.)
- Análise de rotatividade de empregados – (processo de avaliação da rotatividade de empregados com o intuito de prever o futuro e reduzir a rotatividade de empregados.)
- Análise de cultura corporativa – (o processo de avaliação e melhor compreensão sobre a cultura corporativa ou diferentes culturas que existem na empresa.)
- Análise do canal de recrutamento – (o processo de definir de onde vêm os melhores funcionários e quais canais de recrutamento são mais eficientes.)
- Análise de liderança – (desagrupa as várias dimensões da performance da liderança por meio de dados ganhos através do uso de questionários, grupos focais, entrevistas de funcionários e etnografia.)
- Análise da performance de funcionários – (busca avaliar a performance individual do funcionário.)

☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5
 Nenhum 1 2 ou 3 4 ou 5 6 ou 7 Todos

3. Qual o nível de compartilhamento de dados em tempo real para os funcionários em campo?

Nenhum

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
0	1	2	3	4	5

Alto

4. A que nível o treinamento de funcionários é feito em um ambiente virtual?

Não há treinamento em
ambiente virtual

<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
0	1	2	3	4	5

Todos os treinamentos
possíveis são feitos em
ambiente virtual

5. A que nível os funcionários possuem habilidades relevantes para a Indústria 4.0?

- ☐ 0 Não avaliado
- ☐ 1 Funcionários não possuem experiência com tecnologias digitais
- ☐ 2 Funcionários possuem pouca experiência com tecnologias digitais
- ☒ 3 Áreas com foco tecnológico possuem funcionários com algumas habilidades digitais
- ☐ 4 A maior parte das áreas possui capacidade de análise digital e de dados bem desenvolvida
- ☐ 5 Por toda a empresa, habilidades digitais e analíticas de ponta são prevaletentes.

6. Em que nível há treinamento para a transformação digital na empresa?

Não há

<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
0	1	2	3	4	5

Alto

7. Como a TI é organizada?

- () Sem departamento interno de TI (é usado um prestador de serviço)
 (x) Departamento de TI central
 () Departamentos de TI em cada área (produção, desenvolvimento de produto, etc.)
 () Profissionais de TI estão ligados a cada departamento

8. Qual o nível de colaboração entre os departamentos?

Não há	()	()	()	(x)	()	()	Alto
	0	1	2	3	4	5	

9. A que nível a equipe de liderança suporta a Indústria 4.0?

Equipe não reconhece o valor dos investimentos da Indústria 4.0	()	()	()	()	(x)	()	Amplo suporte à Indústria 4.0
	0	1	2	3	4	5	

10. Como a equipe de Indústria 4.0 está organizada para executar projetos de inovação?

- (x) Não há funcionários para os projetos de Indústria 4.0
 () Há funcionários para o projeto de Indústria 4.0, mas em unidades de negócio distinta
 () Há funcionários para o projeto da Indústria 4.0 na mesma unidade de negócio.

11. Qual o nível de envolvimento da T.I. Nos projetos de T.O?

Não há envolvimento	()	()	(x)	()	()	()	Em todos os projeto de T.O.
	0	1	2	3	4	5	

APENDICE B – TABELA DE PONTOS DE MELHORIA

	Ponto de melhoria	Nível de autonomia	Facilidade de implementação	Fator de impacto na maturidade da dimensão	Pontuação
Produtos e Serviços Inteligentes	1. Aumentar a quantidade de funções de conectividade dos produtos da empresa.	1	3	0,57	1,71
	2. Aumentar nível de análise feita pelo produto.	2	2	0,43	1,71
	3. Oferecer mais serviços e conhecimento a partir dos dados obtidos através de dados de uso coletados pelo produto para todas as partes interessadas.	2	2	0,43	1,71
	4. Aumentar a quantidade de benefícios obtidos para a empresa a partir dos dados coletados dos serviços de pós-venda.	3	3	0,29	2,57
	5. Oferecer mais serviços de pós-venda a partir do uso do <i>Big Data</i> e as outras tecnologias da Indústria 4.0. (Manutenção remota, gestão de requisitos por T.I., gestão de pedidos, exibição do histórico do produto)	2	2	0,43	1,71
	6. Utilizar tecnologias móveis e de virtualização nos processos de serviço de pós-venda.	2	3	0,57	3,43
Produção Inteligente	1. Aumentar quantidade de sistemas de produção com interface com o sistema principal da empresa.	5	2	0,42	4,17
	2. Aumentar a integração da cadeia de suprimentos com sistemas integrados em tempo real e transferência automatizada de dados.	2	2	0,17	0,67

	3. Aumentar a automatização dos equipamentos de produção a nível de máquinas.	2	1	0,33	0,67
	4. Aumentar automatização da coleta de dados sobre maquinários, processos e produtos.	5	3	0,33	5,00
	5. Utilizar dados coletados na produção para a criação de transparência no processo de produção e controle automático da produção por meio de dados em tempo real.	5	2	0,17	1,67
	6. Utilizar dados coletados na produção para rastreamento automático de atingimento de metas, sistema de reivindicação digital e para análise de big data para detectar novos fornecedores.	5	2	0,25	2,50
	7. Aumentar a visibilidade para a cadeia de valor (capacidade, inventário e operações visíveis em tempo real para a cadeia de valor)	2	2	0,25	1,00
	8. Aplicar o conceito de Gêmeo-digital para obter rastreabilidade em tempo real da operação no meio digital.	2	3	0,42	2,50
	9. Aumentar o uso da manufatura aditiva e tecnologias virtuais e móveis.	4	4	0,14	2,21
	10. Utilização de robôs adaptativos e colaborativos.	1	2	0,14	0,28
	1. Realizar gestão de portfólio de clientes a partir da análise de dados de clientes.	0	3	0,05	0,00
	2. Gerar novas campanhas de vendas a partir de dados de compras e uso.	2	3	0,25	1,50
Operação Inteligente					

3. Integrar o sistema de gestão de campanha aos outros sistemas	3	4	0,20	2,40
4. Aumentar o nível de suporte da equipe de vendas com produtos e serviços digitais e acesso em tempo real ao sistema.	4	3	0,10	1,20
5. Realizar análise de rentabilidade em tempo real	3	2	0,05	0,30
6. Automatizar gestão de performance para a força de vendas	4	4	0,10	1,60
7. Aumentar o nível de integração dos canais de comunicação com clientes.	3	3	0,10	0,90
8. Realizar análise da empresa em redes sociais.	3	3	0,25	2,25
9. Implantar sistema de nuvem	0	2	0,25	0,00
10. Utilizar painéis de controle de TI para rastrear processos.	4	4	0,25	4,00
11. Implementar funcionalidade de controle de máquinas por sistemas de TI, comunicação M2M e interoperabilidade de máquinas e sistemas.	4	2	0,13	1,00
12. Aumentar a automatização dos sistemas financeiros.	3	3	0,20	1,80
13. Medir o risco financeiro potencial em tempo real.	4	2	0,15	1,20

Cultura e Empregados	1. Acrescentar análises de liderança e de competências.	4	1	0,09	0,36
	2. Compartilhar dados em tempo real para funcionários em campo	4	3	0,09	1,09
	3. Fazer todos os treinamentos de funcionários possíveis em ambiente virtual	3	3	0,36	3,27
	4. Desenvolver habilidades relevantes para a Indústria 4.0 em funcionários por toda a empresa.	5	2	0,18	1,82
	5. Treinar todos os funcionários em relação à transformação digital	5	4	0,45	9,09
	6. Organizar a TI com profissionais da área em cada departamento.	3	2	0,27	1,45
	7. Aumentar o nível de colaboração entre departamentos	4	2	0,18	1,64
	8. Aumentar o nível de suporte à Indústria 4.0	3	3	0,09	0,82
	9. Formar equipe de Indústria 4.0 focada em projetos de inovação.	3	3	0,45	4,09
	10. Envolver a TI em todos os projetos de TO	5	3	0,27	4,09
Estratégia e Organização	1. Produtos e serviços atuais precisam ser modificados para estarem condizentes com modelos de negócio digitais.	1	2	0,21	0,43
	2. Aumentar o nível de recursos para implementar o modelo de negócio digital.	2	2	0,29	1,14

3. Os serviços dirigidos por dados precisam ser desenvolvidos e monetizados.	2	2	0,36	1,43
4. Aumentar a quantidade de parcerias para projetos de Indústria 4.0 (fornecedores de tecnologias, cliente, fornecedores, entre outros)	3	3	0,29	2,57
5. Formular e implementar estratégia de implementação da Indústria 4.0.	4	4	0,21	3,43
6. Estabelecer indicadores apropriados para rastreamento do status de implementação da Indústria 4.0.	5	4	0,21	4,29
7. Aumentar a quantidade de tecnologias da Indústria 4.0 em utilização na empresa.	2	2	0,21	0,86
8. Aumentar o nível de investimentos para a Indústria 4.0.	1	2	0,21	0,43
9. Aumentar frequência de análise de custo benefício dos investimentos em indústria 4.0	5	3	0,07	1,07
10. Distribuir nível de investimentos em indústria 4.0 em cada área	5	3	0,27	4,09
11. Desenvolver estrutura organizacional dirigida por dados.	3	2	0,36	2,14